

SÉRIE A, n° 28
N° D'ORDRE:
31

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

PAR

H. ARSANDAUX

1^{re} THÈSE. — CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES ROCHES ALCALINES
DE L'EST-AFRICAIN.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 22 juin 1906 devant la Commission d'examen.

MM. HAUG	<i>Président.</i>
MICHEL	} <i>Examineurs.</i>
GENTIL	

PARIS

MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

123, BOULEVARD SAINT-GERMAIN

—
1906

SÉRIE A, N° 28

N° D'ORDRE :

31

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

PAR

H. ARSANDAUX

1^{re} THÈSE. — CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES ROCHES ALCALINES
DE L'EST-AFRICAIN.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 21 juin 1906 devant la Commission d'examen.



MM. HAUG	<i>Président.</i>
MICHEL	} <i>Examineurs.</i>
GENTIL	

PARIS

MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN

—
1906

UNIVERSITÉ DE PARIS

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

	MM.	
Doyen.....	P. APPELL, <i>Professeur</i> ...	Mécanique rationnelle.
Doyen honoraire.....	G. DARBOUX.....	Géométrie supérieure.
Professeurs honoraires..	{ L. TROOST. Ch. WOLF.	
	LIPPMANN.....	Physique.
	BOUTY.....	Physique.
	BOUSSINESQ.....	Physique mathématique et Calcul des probabilités.
	PICARD.....	Analyse supérieure et Algèbre supérieure.
	H. POINCARÉ.....	Astronomie mathématique et Mécanique céleste.
	Y. DELAGE.....	Zoologie, Anatomie, Phy- siologie comparées.
	G. BONNIER.....	Botanique.
	DASTRE.....	Physiologie.
	DITTE.....	Chimie.
	GIARD.....	Zoologie, Évolution des êtres organisés.
	KOENIGS.....	Mécanique physique et ex- périmentale.
	VÉLAIN.....	Géographie physique.
Professeurs.....	GOURSAT.....	Calcul différentiel et cal- cul intégral.
	CHATIN.....	Histologie.
	PELLAT.....	Physique.
	HALLER.....	Chimie organique.
	H. MOISSAN.....	Chimie.
	JOANNIS.....	Chimie (Enseign ^t P. C. N.).
	JANET.....	Physique — —
	WALLERANT.....	Minéralogie.
	ANDOYER.....	Astronomie physique.
	PAINLEVÉ.....	Mathématiques générales.
	HAUG.....	Géologie.
	N.....	Physique.
	TANNERY.....	Calcul différentiel et calcul intégral.
	RAFFY.....	Application de l'Analyse à la Géométrie.
	HOUSSAY.....	Zoologie.
	N.....	Chimie biologique.
	N.....	Zoologie, Anatomie, Phy- siologie comparées.
	PUISEUX.....	Mécanique et Astronomie.
	RIBAN.....	Chimie analytique.
	LEDUC.....	Physique.
Professeurs adjoints...	HADAMARD.....	Calcul différentiel et calcul intégral.
	MATRUCHOT.....	Botanique.
	MICHEL.....	Minéralogie.
	DAGUILLON.....	Botanique.
	BOUVEAULT.....	Chimie organique.
	BOREL.....	Théorie des fonctions.
Secrétaire.....	A. GUILLET.	

A

LA MÉMOIRE DE M. F. FOUQUÉ

A M. A. LACROIX

MEMBRE DE L'INSTITUT
PROFESSEUR AU MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE

Témoignage d'affectueuse reconnaissance.

AVANT-PROPOS

La plupart des éléments qui ont servi de base au présent mémoire ont été recueillis au cours d'un voyage que j'ai fait en Ethiopie (1901-1902) en qualité de membre de la mission organisée, sous les auspices du Ministère de l'Instruction publique, par M. Jean Duchesne-Fournet.

Les difficultés matérielles inhérentes à tout voyage dans ces régions sont encore telles, qu'il est à peu près impossible de diriger les recherches nécessaires dans les conditions requises pour une étude normale et méthodique de la géologie des territoires traversés.

Aussi la plupart des expéditions organisées pour l'étude et la reconnaissance de ces contrées n'ont-elles rapporté, au point de vue géologique, que des données pétrographiques peu coordonnées sur les itinéraires qu'elles ont suivis.

Tel aurait été sans doute le cas de notre mission si, au nombre des échantillons qu'il m'a été donné de recueillir, ne figuraient des représentants nombreux et variés de ce groupe des « roches alcalines », objet, depuis quelques années, de tant d'études pétrographiques.

C'est en raison de cette heureuse circonstance que j'ai cru pouvoir présenter les résultats géologiques de cette exploration sous la forme d'une « Contribution à l'étude des roches alcalines de l'Est-Africain ».

Les limites assignées par là-même à l'exposé de mes recherches

entraînaient la mise au second plan d'échantillons de roches dont la description était superflue, en raison de leur banalité même, et pour lesquels il suffisait d'une simple citation. D'autre part, la forme adoptée pour le développement de ce travail offrait l'avantage de permettre la présentation à titre accessoire des observations forcément incomplètes et peu ordonnées qu'il m'a été donné de recueillir sur la stratigraphie et la géographie physique de la région parcourue. Aussi ai-je cru pouvoir les consigner au cours de la description de l'itinéraire parcouru, à la suite d'un exposé succinct des connaissances acquises sur la géologie de la région à laquelle appartiennent les territoires traversés par cet itinéraire, exposé et description qui constituent la première partie de ce mémoire.

L'étude pétrographique des roches alcalines en forme la deuxième; elle comprend deux chapitres, relatifs, le premier à l'examen micrographique et le second à l'examen chimique de ces roches.

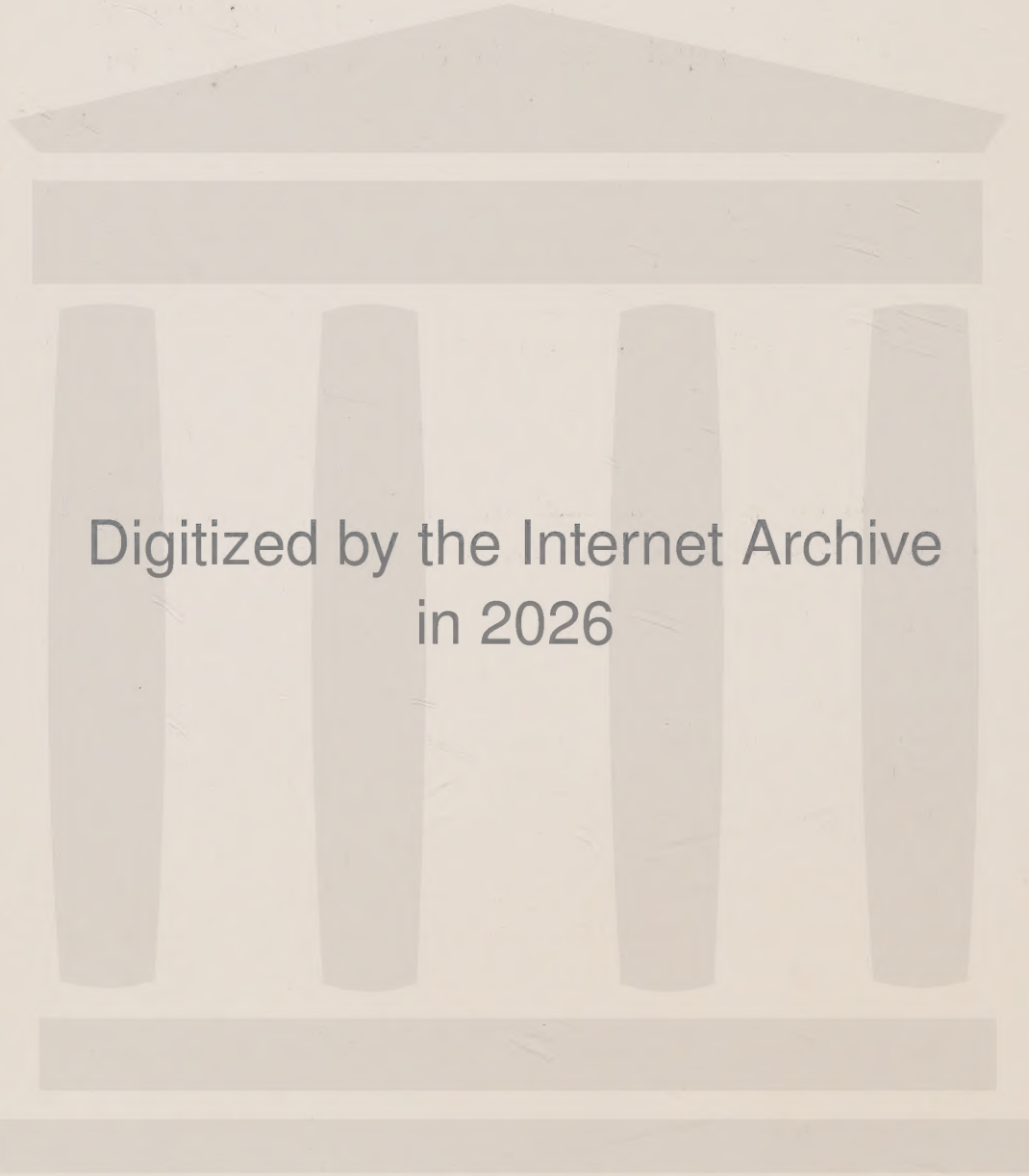
Un appendice contient, d'autre part, diverses observations qui ne devaient pas prendre place dans l'étude pétrographique précédente, en raison de la nature des roches basaltiques auxquelles elles se rapportent.

Je dois ajouter enfin qu'il m'a été donné de compléter l'étude des roches recueillies au cours de la mission Duchesne-Fournet par l'examen d'un certain nombre d'échantillons provenant des collections géologiques du Muséum d'histoire naturelle de Paris, et dont je dois la communication à la bienveillante obligeance de M. Stanislas Meunier; au nombre de ces échantillons figurent en particulier ceux qu'a recueillis M. Neuville, le naturaliste qui a récemment accompagné M. Maurice de Rothschild dans l'Est-Africain.

Je suis également redevable à Miss Raisin, professeur à Bedford College (Londres), et à M. Prior, assistant au Muséum d'histoire

naturelle de Londres, de la communication des collections pétrographiques qui ont fait l'objet de leurs publications scientifiques sur l'Est-Africain ; grâce à leur obligeance, j'ai pu faire d'utiles comparaisons avec quelques-uns des échantillons recueillis au cours de notre mission.

M. Fouqué, mon très regretté maître, et son successeur au Collège de France, M. Michel Lévy, ainsi que M. Lacroix, membres de l'Institut, ont bien voulu me prodiguer leurs précieux encouragements ; MM. Michel, Gentil, et particulièrement M. Haug, m'ont aidé de leurs conseils autorisés, en vue de la préparation de ce travail. Ce m'est un agréable devoir de leur adresser à tous mes sincères remerciements, auxquels je tiens à associer la famille de M. Jean Duchesne-Fournet ; c'est grâce à elle, en effet, qu'il m'est permis d'apporter ma modeste collaboration à l'œuvre publiée en mémoire de celui qu'une fin prématurée est venue enlever à l'affection des siens, presque au lendemain de son retour de l'Est-Africain.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41556022_0008

CONTRIBUTION
A
L'ÉTUDE DES ROCHES ALCALINES
DE L'EST-AFRICAIN

APERÇU GÉOLOGIQUE

J'ai effectué mon voyage dans l'Est-Africain, en parcourant un itinéraire qui se décompose de la manière suivante :

Aller. — De Djibouti à Guildessa, à travers le pays Issa-Somali; de Guildessa au pont de fer de l'Aouache, en suivant le pied des contreforts terminaux du Harrari et du Tchercher; du pont de fer de l'Aouache à Tadetchamalka, sur la rivière Kassam, à travers le pays Dankali; de Tadetchamalka à Addis-Abbeba (Addis Abeba), à travers les plateaux du Minjar (Mindjar) et du Choa.

Retour. — Même chemin qu'à l'aller, sauf en ce qui concerne la partie comprise entre l'Aouache et Guildessa, cette dernière localité ayant été rejointe par les plateaux du Tchercher et du Harrari.

Le territoire ainsi traversé comprend trois régions de nature géologique différente, auxquelles M. E. SUESS a donné les noms d'*Afar*, de *Plateau Somali* et de *Plateau Abyssin*.

Dans le célèbre mémoire qu'il a rédigé à l'aide des documents

recueillis par la mission du comte Teleki (1), M. SUESS a indiqué les données géologiques qu'on possédait, il y a environ quinze ans, sur chacune de ces trois régions. Pour les parties de ces régions qui concernent mon itinéraire, je débiterai par résumer ici le travail du célèbre géologue autrichien, en utilisant, pour le compléter, les quelques résultats acquis depuis sa publication; puis, conformément au plan adopté par M. SUESS dans son mémoire, je ferai la description de la route que j'ai suivie, en indiquant quelle contribution je puis apporter à la connaissance géologique de l'Est-Africaï.

D'après M. SUESS, il doit exister une grande fracture est-africaïne, dont les extrémités sud et nord sont situées respectivement au confluent du Chiré et du Zambèze, et dans les environs de Massaoua. Différents accidents tectoniques : failles, fosses, volcans, jalonnent cette fracture entre le Chiré et le lac Stéphanie; à partir de ce lac, il est possible de distinguer, dans la partie de l'Afrique orientale que traverse la fracture, deux grandes régions de plateaux : le *Plateau Somali* d'une part, et de l'autre, le *Plateau Abyssin*.

Au N.-O., le bord du plateau somali constitué par l'à-pic du plateau des Aroussis poursuit d'abord une direction N.-E.; mais vers le pays des Itou-Gallas, entre les 9° et 10° degrés de latitude Nord, cette direction se modifie assez brusquement : elle devient E.-N.-E. et se maintient sensiblement telle jusqu'à Guildessa, puis jusqu'à la mer, accompagnant dans sa prolongation la côte sud du golfe d'Aden, jusqu'à Socotora et même au delà. Cette flexion du bord escarpé du plateau dans le pays des Itou-Gallas, environ au S.-E. d'Ankober, constitue, d'après M. SUESS, une ligne tectonique des plus importantes de cette partie de l'Est-Africaï.

Entre le 5° degré et la région de l'est d'Ankober, au pied de la falaise des Aroussis, dirigée S.-O.-N.-E., s'étend une région déprimée, qui, vers le S.-O., envoie ses eaux vers l'Omo, fleuve tributaire d'un

(1) E. SUESS, *Beitrag zur geologischen Kenntniss des ostlichen Afrika*. IV Theil. *Denkschrift K. Akad. Wiss. Wien, Math. Naturw. Cl.*, LVIII, 1891, p. 555-584.

ac sans écoulement, le lac Rodolphe. Cette région contient vers le N.-O. le cours supérieur de l'Aouache, fleuve qui s'écoule ensuite dans la direction du N.-E., et va se perdre dans les marais et les lacs du pays Aoussa.

Cette région déprimée prolonge probablement la grande fosse sans écoulement de l'Est-Africain; elle est limitée au N.-O. et à l'ouest par la falaise terminale du plateau abyssin, à peu près symétriquement, par rapport à une direction voisine du N.-E.-S.-O., au bord du plateau somali, la flexure de la région des Itou-Gallas ayant son symétrique abyssin dans la région d'Ankoher. C'est à peu près à la latitude de cette ville que la falaise abyssine, jusque-là assez variée et souvent interrompue, devient plus abrupte et continue, se poursuivant directement vers le nord. Également, et à peu près à cette latitude, le sens d'écoulement des eaux du pays abyssin change; alors que précédemment ces eaux étaient tributaires de l'Omo et de l'Aouache, elles se dirigent maintenant vers le Nil.

Les falaises divergentes des plateaux somali et abyssin constituent les côtés d'un vaste triangle, dont le troisième côté est formé par la mer Rouge, et dont les sommets correspondent à peu près aux trois villes de Massaoua, Ankoher et Berbera. En élargissant le sens géographique de ce nom, M. SUËSS appelle *Afar* le territoire ainsi délimité.

La détermination des trois régions que nous envisageons étant ainsi établie, voyons quelles sont les autres données géologiques acquises à l'heure actuelle pour les parties respectives d'entre elles qui concernent mon itinéraire.

Afar. — L'Afar poursuit une bordure maritime étroite et basse; de Massaoua à Zeila, sur des milles et des milles, la côte est formée par une suite de sables, de scories volcaniques et d'accumulations de pouzzolane. Le pays a l'aspect d'une contrée détruite par un incendie immense.

Des roches volcaniques forment les parties les plus élevées des côtes; au-dessus d'elles reposent déjà, en partant d'Obock, quelques

couches de formation marine récente. Près d'Obock se trouvent des calcaires argileux, associés à des tufs trachytiques et à des basaltes (1).

A l'intérieur du pays, on connaît un certain nombre de lacs sans écoulement; c'est dans quelques-uns de ceux-ci que l'Aouache paraît déverser ses eaux, mais ce qui caractérise le plus cette contrée, c'est le grand nombre de ses volcans éteints ou actifs. Bien que la répartition de ces volcans soit encore mal déterminée, on sait qu'un certain nombre d'entre eux jalonnent à plusieurs reprises les côtes de la mer Rouge, et que, suivant une direction N.-E.-S.-O., en commençant par le Dofane, situé dans la région de divergence des falaises bordant l'Afar, plusieurs cônes éruptifs sont alignés à l'est de l'Aouache et à l'ouest de la plaine marécageuse des Aïrolafs, jalonnant une fente qui, d'après M. SUESS, semble prolonger celle dans laquelle coulent l'Omo et l'Aouache dans son cours supérieur. Toujours d'après cet auteur, l'Afar diffère des plateaux qui le bornent : par sa situation plus déprimée, par le grand nombre de ses volcans éteints, et aussi parce que la plus grande partie de cette vaste région est sans écoulement vers la mer; par tous ces caractères, on peut relier l'Afar à la zone de la grande cassure est-africaine, et le considérer comme une pièce déprimée de la surface du globe.

Les nombreux volcans de l'Afar sont pour la plupart éteints; leurs coulées, scories et projections recouvrent une grande partie du pays, et si l'on excepte quelques volcans du nord ayant eu des éruptions récentes, l'activité volcanique ne se manifeste plus guère que par de très nombreuses sources chaudes qui y ont été reconnues.

En ce qui concerne la nature des laves qui recouvrent l'Afar, il est acquis que ces produits volcaniques sont essentiellement trachytiques et basaltiques. Ce n'est que récemment que des renseignements plus précis ont été fournis au sujet de la nature des roches volcaniques qui recouvrent ce pays; en effet, M. LACROIX a fait connaître le dévelop-

(1) En ce qui concerne cette succession, M. SUESS fait remarquer que *le basalte est plus jeune que le trachyte*; cette observation ne peut cependant pas être généralisée, ainsi que je le montrerai plus loin.

pement des roches trachytiques particulières qui se rencontrent sur le territoire de la Côte Française des Somalis ; ces roches, des rhyolites, sont caractérisées par la nature sodique de leurs éléments feldspathiques et métasilicatés (1) ; ce sont les seules jusqu'à présent, avec les pantellérites signalées par ROSIWAL dans la région d'Ankober (2), qui aient été reconnues dans l'Afar comme faisant partie de ce groupe des *roches alcalines* qui a été l'objet de tant d'études pétrographiques dans ces dernières années.

Le Plateau Abyssin. — Les travaux de ROCHET d'HÉRICOURT (3), de FERRET et GALINIER (4), et surtout ceux de BLANFORD (5), montrent que les roches archaïques forment, accompagnées de phyllites, le Tigré et tout le nord du plateau abyssin. Au sud, ces roches sont recouvertes de grès et de calcaire. Ce dernier est attribué aux couches inférieures du Jurassique. Toutes ces roches sont recouvertes de couches puissantes de laves plus récentes que le Kiméridgien, mais plus anciennes que la formation de la grande faille que constitue la fracture abyssine. La partie méridionale de cette faille, — dont le rejet, extrêmement considérable, s'élève à plusieurs reprises au-dessus de 3000 mètres, — est exclusivement formée de ces laves.

D'après les travaux d'AUBRY (6), on sait maintenant que l'on a affaire aussi, pour tout le cours du Nil Bleu, à la même formation de roches, que les terrains jurassiques inférieurs sont horizontalement stratifiés

(1) A. LACROIX, Les rhyolites à ægyrine et riebeckite de la côte française des Somalis. *C. R. Acad. Sciences*, CXXX, 1900, p. 1208.

(2) A. ROSIWAL, Beitr. z. geol. Kenntniss des ostlichen Afrika. II, Theil, *Denkschr. K. Akad. Wiss. Wien*, LVIII, 1891, p. 54 et 61 [518 et 525].

(3) DUFRENOY, Rapport sur les travaux de ROCHET d'HÉRICOURT. *C. R. Acad. Sc.*, XXII, 1846, p. 806-809.

(4) FERRET et GALINIER, *Voyage en Abyssinie*. III, Géologie, Atlas.

(5) BLANFORD, *Observations on the Geology and Zoology of Abyssinia*, p. 143-203 ; carte géologique. London, 1870.

(6) AUBRY, Observations géol. sur les pays Danakils, Somalis, le royaume de Choa et les Pays Gallas. *Bull. Soc. Géol. de France*, 3^e série, XIV, 1886, p. 201-222, carte géol. ; — et H. DOUVILLÉ, Examen des fossiles rapportés du Choa par M. AUBRY. *Ibid.*, p. 223-243, pl. XII.

sous les laves, et que sous ces assises jurassiques se trouvent des roches archaïques.

Bord nord du Plateau Somali. — Sur le bord nord du plateau somali, entre l'Aouache et Harrar, nous n'avons que fort peu de renseignements. Il est seulement établi qu'une brusque dénivellation se produit entre Guildessa (1 096 mètres) et le col de l'Ecco (2 263 mètres), et que des schistes cristallins existent entre ces deux points; on sait, en outre, que toute la région de Harrar (Harar) est granitique, et que non loin de cette ville se trouvent des terrains du Crétacé moyen (Naumann) (1) et des terrains quaternaires (Du Bourg de Bozas) (2).

Depuis Harrar jusqu'à sa terminaison orientale, le bord nord du plateau somali présente la même construction; à son pied, la formation maritime récente, avec çà et là des terrains d'éruptions volcaniques récentes. Partout à sa base (quelquefois sur toute la hauteur de la falaise) s'observent des roches cristallines anciennes; au-dessous de celles-ci sont des calcaires stratifiés, recouvrant parfois vers le sud de grandes superficies de terrains.

Une formation gréseuse existe d'une façon ininterrompue entre les granites et les calcaires. Les travaux de ROCHEBRUNE, MAYER-EYMAR, GREGORY, NEWTON, CRICK et DACQUÉ (3), montrent que, parmi ces

(1) CARLO V. ERLANGER et OSCAR NAUMANN, Briefliche Mitteilungen über ihre Reisen in Nordost. Afrika. *Zeitschr der Ges. für Erdkunde zu Berlin*, XXVII, 1900, p. 477-486.

(2) DU BOURG DE BOZAS, Voyage au pays des Aroussi. *La Géographie*, V, 1902, p. 427.

(3) ROCHEBRUNE, Fossiles et observations géologiques sur la région habitée par les Çomalis et plus spécialement sur les montagnes des Ouarsanguélis, in RÉVOIL, *Faune et flore des pays Çomalis* (Paris, 1892), 39 p. et 4 pl.

MAYER-EYMAR, Ueber Neocomien Versteinerungen aus dem Somaliland. *Vierteljahresschrift zur naturforsch. Ges.*, XXXVIII, 1893, p. 249-263.

GREGORY, A Note on the Geology of Somaliland, etc. *Geol. Mag.* (4), 1896, p. 289-294. — On the Geology and fossils Corals and Echinids of Somaliland. *Quart. Journ.*, LVI, 1900, p. 205 et suiv.

NEWTON, On the occurrence of an indian jurassic shell, etc., *Geol. Mag.* (4), III, 1896. — The tertiary fossils of Somaliland, etc. *Quart. Journ.*, LXI, 1902, p. 255 et suiv.

CRICK, Note on some fragments of Belemnites from Somaliland. *Geol. Mag.* (4), III, 1896, p. 296-298.

DACQUÉ, Beitrage zur Geologie des Somalilandes. I. Theil, untere Kreide, et II. Theil,

roches sédimentaires, différents termes de l'Oolithique moyen et supérieur, du Crétacé moyen et de l'Éocène se trouvent représentés.

Les roches volcaniques recouvrant les deux régions de plateaux qui bornent l'Afar, sont encore essentiellement trachytiques et basaltiques; cependant, dès 1843, H. Rivière, d'après Ferret et Galinier, a signalé un certain nombre de roches syénitiques dans la région d'Adoua-Axoum; plus récemment, les travaux de M. Michel LÉVY, de Miss Raisin, de M. Gaubert et de M. Prior (1) ont montré que, dans ces régions, des roches de nature alcaline ne constituent pas des types pétrographiques exceptionnels.

Les connaissances acquises sur les régions que j'ai traversées étant ainsi rappelées, je vais passer maintenant à la description de mon itinéraire, divisant cette partie de mon travail en trois paragraphes concernant respectivement : l'Afar, le Plateau Abyssin et le Plateau Somali.

Afar. — Ayant fait quelques excursions autour de la baie de Tadjoura et dans les environs de Djibouti, je commencerai par décrire, avec quelques détails, les parties de la Côte Française des Somalis que j'ai visitées, en envisageant successivement la bordure maritime et l'intérieur de ce pays.

Oberer Jur. *Beitr. z. Pal. u. Geol. OÖsterreichs Ungarns u. des Orients*, XVIII, 1904 et 1905, p. 117-160.

(1) FERRET et GALINIER, *Op. cit.*, p. 77-83.

A. MICHEL-LÉVY, Sur une téphrite néphélinique de la vallée de la Jumma (Royaume du Choa), *Comptes rendus*, CII, 1886, p. 451.

MISS C.-A. RAISIN, Rocks from Southern Abyssinia. *Quart. Journ.*, vol. LIX, 1903, p. 292-306, carte. — On some Rocks specimens from Somaliland. *Geol. Mag.*, 1888, p. 417-418.

P. GAUBERT, Sur des échantillons de roches d'Abyssinie, etc. *Bull. du Muséum d'hist. nat.*, VII, 1901, p. 27.

G.-T. PRIOR, Riebeckite in trachyte rocks from Abyssinia. *Min. Mag.*, vol. XII, n° 55, p. 92-95. — Aegyrine et Riebeckite anorthoclase rocks related to the Grorudite-tinguaite series, from the neighbourhood of Adoua and Axum, Abyssinia. *Min. Mag.*, vol. XII, n° 57, p. 255-273, pl. — Contribution to the Petrology of British East Africa. Comparison of volcanic rocks from Pantelleria, etc. and Abyssinia. *Min. Mag.*, vol. XIII, n° 61, p. 228-262, pl.

La zone littorale de notre protectorat de l'Est-Africain permet de distinguer deux natures de régions côtières :

La première, relative à l'océan Indien, est constituée de plages sableuses que bordent deux ceintures de formations madréporiques d'âges différents, l'une extérieure au rivage et actuelle, l'autre en retrait dans les terres, et formée par une succession de terrasses dont l'altitude croît à mesure que l'on s'éloigne de la mer. Un peu plus à l'intérieur des terres, à des distances variables de la mer, s'observent les premières manifestations de l'activité volcanique de cette région, sous la forme de produits de projections et de laves de nature basaltique.

L'autre région côtière est celle du golfe de Tadjoura. Là, les formations madréporiques n'existent plus ; d'un haut massif volcanique dont la montagne des Mamelles fait partie, partent d'énormes coulées de basalte doléritique, qui vont se terminer en falaises abruptes le long des étroites plages de galets que baignent les eaux du golfe entre l'entrée du Gubbet Kharab et la pointe de Manga Daffa.

De l'autre côté de la baie, en visitant Obock et Tadjoura, j'ai pu observer la même distinction de natures côtières. De la présence de ces terrasses madréporiques longeant intérieurement le rivage de l'Océan aussi bien au sud qu'au nord de la baie de Tadjoura, il semble permis de conclure avec AUBRY (1) que cette région littorale de l'Afar est en voie d'émersion.

Aux abords immédiats de Djibouti, il n'y a, en fait de roches volcaniques en place, que des basaltes doléritiques et des labradorites porphyroïdes ; je n'ai trouvé sur les lieux aucun indice relatif à l'ordre de venue au jour de ces roches. Même pénurie de renseignements sur la nature de leur soubassement, car même au fond des tranchées les plus profondes découpées par les rivières, dans les nappes de laves qui

(1) AUBRY, *Op. cit.*, p. 204.

C'est d'une de ces terrasses madréporiques récentes que sortent à Obock des eaux sulfurées. Lors du passage d'AUBRY à Obock, en 1883, la température de ces eaux à leur point d'émergence était de 84° ; j'ai constaté en 1901 que cette température n'avait pas varié.

recouvrent la région côtière, on ne trouve jamais que des roches basaltiques.

Cependant, en s'éloignant de Djibouti dans la direction adoptée pour le tracé du chemin de fer (N.-E.-S.-O.), de nouvelles roches volcaniques, des rhyolites, — celles décrites par M. A. LACROIX (1), — viennent s'adjoindre aux précédentes (kilomètre 30 de la voie ferrée). Plus loin, vers les kilomètres 50-60 du chemin de fer, les berges du Louré et du Hol-Hol fournissent un certain nombre de coupes fort nettes, permettant de constater que ces rhyolites servent de soubassement à des basaltes, lesquels constituent parfois jusqu'à quatre nappes de laves superposées les unes sur les autres en stratification horizontale. En outre, ces coupes permettent de constater que la surface de séparation de ces deux sortes de roches est assez fortement ondulée, la partie inférieure de la nappe basaltique la plus ancienne épousant les concavités et les convexités du niveau rhyolitique sous-jacent. Cette dernière remarque conduit à admettre que, si le modelé des rhyolites est bien dû à un phénomène d'érosion, un certain temps a dû s'écouler entre l'apparition des roches acides et celle des roches basiques (2).

En plusieurs endroits du territoire de la côte française des Somalis, et en particulier dans la région de Hallalé, qui est comprise entre la côte de la baie de Tadjoura à hauteur de Ras Korati, et le massif d'où dépend la montagne « les Mamelles », l'érosion a entaillé profondément basaltes et rhyolites, tantôt en isolant des montagnes tabulaires recouvertes d'une nappe horizontale ou peu inclinée de basalte doléritique, tantôt, quand l'érosion a été assez intense pour enlever ces roches superficielles, en isolant des hauteurs rhyolitiques aux formes coniques plus ou moins aiguës et offrant des tonalités violentes sous les rayons du soleil.

(1) A. LACROIX. *Op. cit.*

(2) Le cours du Louré, non loin de la voie ferrée, borde au nord et à l'est un massif montagneux (le massif du fond, planche II, fig. 1) que j'ai traversé partiellement pour faire l'ascension de son sommet principal, lequel atteint l'altitude de 715 mètres. Cette montagne est de nature rhyolitique, ainsi que celles dont j'ai longé les flancs au cours de mon ascension.

Le croquis ci-dessous schématise les relations mutuelles des roches acides et basiques dont il vient d'être question, ainsi que les effets que l'érosion a exercés sur elles; à droite et à gauche de la région de Hallalé (fig. 1), sont figurés les plateaux à revêtement basaltique qui limitent cette région d'érosion, et qui, eux, n'ont pas été profondément entamés.

En ce qui concerne la provenance des rhyolites dont il vient d'être question, je ne puis fournir aucun renseignement; par contre, les roches basaltiques présentent de nombreux points d'émission, correspondant pour la plupart aux sommets que l'on distingue de Djibouti,



Fig. 1. — Coupe schématique de la région de Hallalé.

à l'ouest et au sud-ouest de cette ville (Voy. le profil annexé au plan, page 12).

Les basaltes doléritiques paraissent provenir tous d'un massif volcanique situé à proximité du Gubbet Kharab. J'ai fait l'ascension d'une des montagnes qui constituent ce massif; cette montagne, qui est désignée sous le nom de « les Mamelles » sur les cartes marines, est formée par un cône de scories comportant un cratère égueulé vers le sud-est; ce volcan est entouré de toutes parts par une nappe de basalte doléritique, longue de 40 kilomètres, large de 8 à 12 et présentant souvent une épaisseur supérieure à 20 mètres, qui, inclinée en pente douce, semble descendre vers l'océan Indien, suivant une direction E.-S.-E. Sur le bord du cratère, j'ai trouvé de nombreuses bombes volcaniques offrant les caractères bien connus des bombes de laves basiques; quelques-unes d'entre elles ont un volume assez considérable (20 à 30 décimètres cubes).

Quant aux labradorites porphyroïdes du protectorat, elles semblent provenir d'un certain nombre de sommets coniques qui sont répartis

sur trois lignes parallèles offrant une direction commune sensiblement sud-ouest, lignes que l'on traverse successivement en s'éloignant de Djibouti dans la direction du sud, à des distances respectives de cette ville d'environ 12, 15 et 20 kilomètres.

En première ligne sont : le Ghissi (sommet double de la carte marine, 260 mètres), le Goumaré (210 mètres) et le Hadlé ; en seconde ligne : l'Aterr et quelques hauteurs de moindre importance, n'ayant pas reçu de dénominations particulières de la part des indigènes. Tous ces cônes volcaniques sont constitués de scories volcaniques ; parmi eux, seul l'Aterr présente un cratère conservé, lequel est largement égueulé au nord-ouest.

Quant aux sommets qui sont répartis sur la troisième ligne (sommets : Rond, Plat, Pointu, du Milieu, de la carte marine), je ne les ai pas approchés ; ils offrent, au dire des indigènes, la même constitution que les cônes volcaniques dont il vient d'être question.

Telles sont les données géologiques que j'ai pu recueillir au sujet de notre territoire ; sur le plan ci-joint où sont repérés les principaux accidents géographiques de ce pays, j'ai figuré d'une façon très approximative la répartition des différentes roches volcaniques que j'y ai observées. Au-dessous de ce plan est représenté le profil du panorama que l'on embrasse du milieu de la jetée du port de Djibouti (fig. 2) ; dans ce profil, dont les points de repère m'ont été fournis par une photographie panoramique, les hauteurs sont multipliées par 5, et les azimuts exprimés à raison de 1 centimètre environ par 10 degrés d'arc.

Je ne ferai qu'une très rapide description de la région comprise entre le Hol-Hol et Adagalla, l'ayant traversée en chemin de fer, et n'ayant pu y recueillir que de rares documents pétrographiques pendant les trop courtes haltes du train.

A partir du Hol-Hol, jusqu'à Aïcha, la voie serpente dans une région très accidentée où se rencontrent des rhyolites et des roches basaltiques ; à celles-ci se joignent des roches sédimentaires fortement redressées, offrant un pendage N.-E ou N.-N.-E ; je pense, en raison de

Dans toute cette première partie du pays somali, les roches affleurent d'une façon à peu près continue à la surface du sol; mais à partir d'Aïcha, la ligne ferrée traverse un pays d'aspect différent, dont les caractères se maintiennent sensiblement les mêmes, jusqu'aux confins de la région désertique, au pied de la falaise qui borne cette dernière au sud.

Le deuxième pays dont il vient d'être question est constitué par une succession de plateaux sableux présentant des altitudes respectives augmentant progressivement à mesure que l'on avance vers le sud-ouest, et séparés les uns des autres par de vastes coulées basaltiques offrant une orientation commune sensiblement est-ouest.

Ces plateaux, recouverts d'une herbe basse poussant en touffes peu serrées, ne présentent aucun accident à leur surface; seules de hautes



Fig. 3. — Hauteur stratifiée. Kil. 70 du chemin de fer.

termitières, très nombreuses, viennent rompre la monotonie de ces sortes de steppes (1) (Pl. I, fig. 1).

Quelle est la provenance de ces coulées de basalte? Je ne le sais pas au juste. Cependant, dans la région de Boussa, ces coulées sont

(1) Ces constructions, dont la hauteur varie en général de 2 à 4 mètres, sont formées par une argile brune desséchée aux rayons du soleil. La matière dont sont formées ces termitières donne à penser qu'à une faible profondeur au-dessous des sables essentiellement quartzeux qui recouvrent la surface de ces régions de steppes, existe un niveau argileux.

vraisemblablement issues d'un massif volcanique, qui, à la latitude de cette localité, s'observe dans l'est de la route des caravanes ; ce massif, que je n'ai pu examiner que de loin, comporte un certain nombre de cônes à cratères.

C'est après la rivière de Boussa que j'ai vu pour la première fois des basaltes doléritiques et des basaltes prophyroïdes associés, les premiers recouvrant les seconds ; un peu plus loin au S.-O., à Arto (1), j'ai observé des roches trachytiques associées aux précédentes.

Dans toute la région désertique dont il vient d'être question, ainsi d'ailleurs que dans l'Afar en général, les rivières sont presque continuellement à sec, leurs lits sont remplis de sables et de galets dont l'épaisseur des couches dépasse souvent 8 mètres. Les eaux météoriques s'infiltrant dans ces couches poreuses, et viennent former, à des profondeurs variables suivant les époques de l'année, un niveau aqueux que les naturels s'efforcent de rejoindre au moyen de puits creusés dans les sables mêmes (2).

A mesure que la saison sèche s'établit, ces puits sont déplacés dans un sens inverse de celui de l'écoulement naturel des eaux, en remontant progressivement le cours de ces rivières, vers les régions de hauts plateaux d'où toutes semblent provenir.

Arto se trouve dans une région dont le caractère diffère quelque peu de celui de ces pays de plateaux que nous venons de parcourir ; cette région constitue une bande de terrain traversée dans sa largeur par la route des caravanes, entre Graslé et Guildessa, et dans sa longueur par la partie est-ouest de mon itinéraire dans l'Afar, entre

(1) Dans cette localité se trouve une source thermale, dont les eaux légèrement sulfurées émergent à une température de 80°.

(2) Les eaux du désert sont généralement fort pures et de goût agréable. Cependant, en certains points, comme à *Lassarat*, elles renferment des sels magnésiens qui leur communiquent un goût analogue à celui des eaux que l'on boit dans la région littorale de l'Afar où les puits, en raison de la proximité de la mer, se ressentent du régime des marées, comme AUBRY l'a signalé dans son mémoire de 1886.

Guildessa et le pont de fer de l'Aouache. Entre ces deux points, la route que j'ai suivie serpente au milieu d'un territoire limité au sud et au nord par deux falaises rocheuses; celle du sud, la falaise somali, qui est continue et de beaucoup la plus importante, constitue *pro parte* le bord nord du plateau du même nom; celle du nord, relativement basse, souvent interrompue, forme le bord sud de plateaux légèrement inclinés vers le nord; le revêtement de ces derniers plateaux est constitué, sans exception, par de puissantes nappes de basaltes doléritiques (Pl. II, fig. 2).

Ainsi se trouve ménagé une sorte de vaste couloir, dont le fond présente une altitude peu variée, dans lequel les eaux, au lieu de s'écouler vers l'est ou vers l'ouest, ainsi que l'on aurait pu s'y attendre, s'écoulent vers le nord ou le nord-ouest par les lacunes existant dans les plateaux basaltiques dont il vient d'être question précédemment.

Les roches qui affleurent au fond de cette grande tranchée naturelle sont de constitution essentiellement volcanique : basaltes porphyroïdes, rhyolites sodiques, pantellérites (1). Faisant immédiatement suite sur mon itinéraire aux rhyolites sodiques dont j'ai longé les formations pendant plus de 30 kilomètres, dans la région de Hélabala, les pantellérites se rencontrent dès lors avec une continuité presque absolue sur tout le restant de mon itinéraire dans l'Afar, et il est probable, ainsi que je m'efforcerai de l'établir ultérieurement, que ces roches offrent un développement considérable dans cette région, aussi bien au nord qu'au sud du chemin que j'ai suivi; nous verrons plus loin qu'elles se rencontrent également sur les régions des hauts plateaux.

L'Aouache, au point où je l'ai passé, coule au fond de véritables *cañons* découpés dans des nappes de laves, entre deux hautes falaises de 80 mètres environ qui se développent parallèlement à son cours. La coupe naturelle mise en lumière par ce vaste ravinement montre que, sous deux nappes superposées de pantellérites de 50 mètres de puissance totale, se trouvent des basaltes porphyroïdes que le fleuve a

(1) Je me sers dès à présent de ce nom, dont je justifierai l'emploi dans mon étude pétrographique.

entaillés sur une profondeur de 30 mètres environ, et sur lesquels est établi son lit actuel (Pl. IV, fig. 1, 2, 3, 4).

Au delà de l'Aouache, on arrive bientôt dans les dépendances du plateau abyssin, dont les premières terrasses commencent à partir de Tadetchamalka. Depuis l'Aouache jusqu'à ce dernier point, ce sont toujours les pantellérites qui constituent les roches superficielles;



Fig. 4. — Source thermale de Filoa.

cependant, entre Filoa et Ouaramalka (fig. 4), les roches sont recouvertes partiellement par trois longues et étroites coulées de basaltes doléritiques, trois courants de laves formant les digitations d'une vaste nappe rocheuse que l'on voit revêtir le flanc nord du massif du Fantalé (1).

Au point de vue stratigraphique, la succession des roches volcaniques, dans toute la partie est-ouest de mon itinéraire dans l'Afar, est la suivante : 1° roches basaltiques porphyroïdes; 2° pantellérites ou rhyolites sodiques; 3° basaltes doléritiques. Cet ordre de succession, schématisé dans la coupe ci-jointe, entre Kara-Kourkoura et Moulou (fig. 5), j'ai eu l'occasion de le vérifier en plusieurs points de la falaise qui borde au nord cette sorte de couloir, dont il a été question plus haut; il permet d'avancer qu'à l'encontre de ce qu'ont cru quelques auteurs, il y a dans notre région des roches basaltiques plus anciennes que certaines roches de nature trachytique.

Je dois ajouter en outre que, dans la région de Guildessa, on voit

(1) A Filoa, au pied d'une de ces coulées basaltiques que l'on voit figurer sur la gauche de la figure 4, émergent à une température de 44° des eaux légèrement chargées d'acide sulfhydrique.

les basaltes anciens reposer directement sur des calcaires fortement redressés, à pendage dirigé vers le nord, calcaires sur l'âge desquels je reviendrai ultérieurement (Pl. I, fig. 2).

Enfin, au point de vue de la nature pétrographique des roches de cette région, je signalerai, en outre des roches volcaniques auxquelles il a déjà été fait allusion, des trachytes augitiques noirs, que l'on voit quelquefois constituer le soubassement des basaltes doléritiques et des microsyénites ægyriniques dont le gisement se trouve à Arto, dans le voisinage de la source thermique ; les premières n'offrent pas d'intérêt

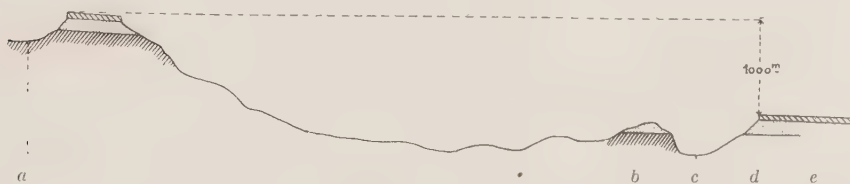


Fig. 5. — Coupe schématique entre Kara-Kourkoura et Moullou.

a, Kara-Kourkoura (Plateau somali); b, Basalte porphyroïde; c, Moullou (Afar); d, Pantellérite; e, Basalte doléritique.

pétrographique particulier ; les autres, au contraire, me fourniront un argument en faveur de la thèse que je soutiendrai plus loin dans la partie pétrographique de ce travail.

Toutes les roches volcaniques dont il vient d'être question forment des nappes de laves qui ont été entamées plus ou moins profondément par l'érosion ; les rivières qui y ont creusé leur lit présentent toujours des berges fort escarpées, constituant quelquefois des cañons, tel celui de l'Aouache que j'ai décrit plus haut (Pl. II, fig. 1, et Pl. VI, fig. 1, 2, 3, 4).

Par un même mécanisme, des montagnes ou des plateaux tabulaires ont été individualisés. Les uns et les autres sont le plus souvent recouverts de basaltes doléritiques ; cependant quelques-uns se montrent revêtus superficiellement de pantellérites ; c'est en particulier le cas de la région que bordent l'Aouache et le Kassam, où les nappes de pantellérites et de roches sous-jacentes ont été découpées

d'une façon capricieuse, formant un ensemble de petits plateaux fort rapprochés les uns des autres, présentant en plan l'aspect d'un jeu de patience (Pl. II, fig. 3).

Quant aux basaltes porphyroïdes, je ne les ai jamais vus sous de semblables aspects; entre Arto et Guildessa où je les ai le mieux observés, ils constituent dans leurs formes de dénudation des collines doucement arrondies (Pl. III), qui, aux abords immédiats de cette der-



Fig. 6. — Calcaires stratifiés des Gorges de Guildessa.

nière localité, montrent un soubassement de calcaires nettement stratifiés; c'est au milieu de semblables hauteurs, à la fois calcaires et basaltiques, que la rivière, dont on voit le lit desséché sur les figures de la planche IV, a frayé son chemin et formé les *gorges de Guildessa* (fig. 6), site pittoresque bien connu des voyageurs qui se rendent à Harrar par l'ancienne route des caravanes.

J'ai dit, en parlant des environs de Djibouti, la forme conique qu'affectaient la plupart des hauteurs rhyolitiques de cette région (1); je dois ajouter que, lorsque ces rhyolites sont chargées en éléments métasilicatés, elles ont un facies rubané (Pl. IX, fig. 4 et 5), et présentent, par suite de leur altération, des aspects schisteux des plus accusés. Ce caractère est développé au plus haut point dans la région de Hélabala (Pl. V, fig. 1 et 2), où des rhyolites de ce genre s'obser-

(1) Voir à ce sujet la planche II, figure 1 (le massif montagneux du fond).

vent, ainsi que je l'ai dit, sur un parcours d'une trentaine de kilomètres, recouvrant la surface du sol d'une quantité innombrable de petites dalles, quelque peu sonores, dont l'aspect rappelle celui de vieux tuileaux.

Une certaine schistosité s'observe également quelquefois dans les pantellérites, là où ces roches présentant de nombreuses lithophyses allongées dans le sens de la fluidalité, il se forme, par suite, des plans de moindre résistance mécanique (Pl. IX, fig. 1).

Dans l'Afar, les causes de destruction les plus apparentes de nos roches sont de nature physique. Ainsi qu'on l'observe dans toutes les régions désertiques de pays chaud, la brusque élévation de température qui se produit au lever du soleil détermine, dans des roches aussi vitreuses que les nôtres, des bris résultant de l'inégale répartition dans leur masse des forces dues à la dilatation (1). D'autre part, les vents chargés de sable exercent leur action érosive bien connue : les roches compactes sont polies, celles qui présentent une structure plus ou moins vacuolaire sont seulement doucies. Les basaltes porphyroïdes, par exemple, fournissent des blocs noirs d'un poli presque parfait, ce qui permet à première vue de les distinguer avec la plus grande facilité des roches de même nature magmatique, mais ayant une structure ophitique, lesquelles offrent dans les mêmes conditions des surfaces ternes et grises, les éléments constitutifs de la roche étant, non pas usés, mais arrachés par l'action dynamique des corpuscules minéraux entraînés par les vents. Bien que sous une forme atténuée, la même distinction s'observe dans les pantellérites; ces roches présentent en effet deux facies, l'un compact qui est de beaucoup le plus commun, l'autre poreux, qui est plutôt accidentel (Pl. IX, fig. 1 et 3).

A ces actions physiques, il convient d'ajouter celles dues au ruissellement, car, bien que les chutes d'eau soient rares dans la région que nous étudions, celles qui se produisent à certaines époques de l'année sont cependant assez abondantes pour produire des effets dynamiques considérables.

(1) Dans l'Afar, on observe fréquemment des différences de température voisines de 30 degrés, entre le jour et la nuit.

Les sables qui résultent du classement mécanique effectué par ces eaux de ruissellement se montrent en général très riches en grains de quartz, auxquels sont adjoints de menus fragments polis de roches trachytiques compactes, de la magnétite et de l'ilménite.

Les grains quartzeux sont les uns limpides, les autres laiteux; les premiers proviennent sans aucun doute de trachytes quartzifères, les autres soit de granites ou de schistes cristallins, soit de produits de silicification résultant de l'attaque des roches par les agents atmosphériques ou par les eaux thermales.

La magnétite et l'ilménite sont à l'état de cristaux dont les arêtes sont le plus souvent émoussées; en certains points, grâce à une concentration naturelle, ces minéraux forment jusqu'à 80 ou 90 p. 100 de la masse des sables dans la constitution desquels ils entrent.

En ce qui concerne l'altération de ces roches par voie chimique, je n'ai recueilli que fort peu de documents. Les formations latéritiques sont probablement peu développées en général; cependant c'est à elles que je rattache les argiles rouges sur lesquelles reposent des blocs de labradorite près de la ligne du chemin de fer, à 15 kilomètres environ de Djibouti; il convient aussi d'y rattacher les argiles desséchées qui forment en partie les berges de la rivière de Graslé, au point où cette rivière est traversée par le chemin des caravanes venant de Djibouti. Je dois signaler, en outre, certains produits d'altération superficielle qui contribuent, dans une forte mesure, à donner à quelques sites de l'Afar les aspects les plus étranges: produits silicatés et ferrifères (1) qui revêtent certaines hauteurs rhyolitiques, leur communiquant une coloration soit verte, soit jaune, que des voyageurs ont quelquefois attribuée à tort à la présence de minerais oxydés de cuivre.

C'est vraisemblablement à des produits analogues qu'est due également la coloration lilas qu'offrent en certains points des environs de Guildessa, les basaltes porphyroïdes altérés.

(1) Produits assimilables aux céladonites.

Enfin, je mentionnerai l'abondance des zéolites calciques dans les vacuoles des basaltes doléritiques de la zone maritime de l'Afar. Ces minéraux ne sont vraisemblablement pas étrangers à la formation du gypse que l'on sait être commun dans ces parages.

A côté des formes normales de l'altération des roches de cette contrée, je signalerai un cas spécial, concernant l'action des eaux thermales sulfurées sur les roches basaltiques. Je ne puis fournir qu'un seul exemple à cet égard ; il est relatif aux basaltes porphyroïdes de Hérer, au milieu desquels émergent à une température de 41° des eaux légèrement chargées d'acide sulfhydrique.

On trouve, aux abords de la source thermique de Hérer, des formations siliceuses extrêmement abondantes ; ce sont, d'une part des plaquettes ou des rognons d'agate-onyx, et d'autre part des géodes de quartz ; certains échantillons de ces deux sortes de production siliceuse atteignent un volume de plusieurs décimètres cubes.

Brise-t-on les géodes, on remarque que, dans la plupart d'entre elles, les cristaux de quartz sont tapissés de calcite dont quelques-uns des cristaux sont bien individualisés et volumineux ; ces poches minérales sont disséminées dans une terre légèrement argileuse qui se montre riche en petits cristaux lamelleux de gypse.

Selon toute vraisemblance, la présence du gypse dans ces terres est due à l'action des eaux chargées d'acide sulfhydrique s'oxydant au contact de l'air, sur les basaltes porphyroïdes, roches dont le verre riche en chaux et en magnésie est aisément attaquable par les acides.

Les très nombreux fragments d'agate et d'agate-onyx observés dans le sable qui remplit certains lits de rivières ont probablement une origine analogue à celle des produits siliceux de même nature que j'ai trouvés à Hérer.

Je ne reviendrai plus, au cours de ma description, sur cette question de la désagrégation et de l'altération des roches. Sur le plateau du Choa, pays dénudé, exclusivement revêtu de laves, je n'ai pas fait

d'observations différant essentiellement de celles que je viens d'exposer; quant au plateau somali, en raison de sa nature couverte, je ne puis guère présenter d'observations coordonnées de ce genre à son sujet, d'autant plus que mon travail dans cette région n'a pu être que fort irrégulier, en raison des pluies qui y étaient établies lors de mon passage.

Le Plateau Abyssin. — A partir de Tadetchamalka, sur les bords du Kassam, point où je me suis arrêté dans la description de mon itinéraire dans l'*Afar*, s'accomplit la montée des gradins du gigantesque escalier qui permet d'accéder au Choa, à la région des steppes bordant le plateau abyssin au S.-E. Pendant tout ce trajet, les roches que l'on rencontre le plus généralement à la surface sont des pantellérites (roches dont nous avons déjà constaté la présence continue depuis la région de Hélabala jusqu'à Tadetchamalka); nous les trouvons encore ici associées à des roches de nature basaltique, ophitiques ou porphyroïdes. Ce sont toujours ces mêmes roches pantelléritiques qui constituent le revêtement superficiel du Choa, jusqu'à Tcheffedonza; mais à partir de cette localité, elles n'affleurent plus, et des basaltes ophitiques leur succèdent à la surface du sol. J'ai marché sur ces dernières roches jusqu'à Addis-Abbeba (1); on les voit, à la traversée de l'Akaki, reposer sur des trachytes augitiques de couleur noire.

Au début, la montée du plateau abyssin se fait en bordure de l'Afar; en un point, Mantacoré-Tchoba, situé sur le bord d'une falaise extrêmement abrupte, on domine de 500 mètres environ le pays des Dankali. J'ai pu de cet endroit observer la région désertique qui borde l'Aouache en amont du massif du Fantalé.

Cette région, relativement peu accidentée, est à peu près totalement dépourvue de végétation. Elle paraît être revêtue en grande partie de roches de couleur claire, au milieu desquelles se distinguent des

(1) Ces basaltes se distinguent de ceux de même nature que l'on rencontre dans l'Afar, par une densité moindre et une coloration gris clair résultant de la prédominance de l'élément blanc dans leur pâte.

surfaces de contours variés, constituant souvent d'étroites et longues traînées, qui sont recouvertes de roches dont la couleur sombre tranche nettement sur celle des précédentes; je pense que le plus souvent ces roches sont respectivement des pantellérites et des basaltes doléritiques, à en juger par la nature de la plupart des échantillons recueillis au cours du voyage de M. M. DE ROTHSCHILD.

Au milieu du territoire que recouvrent ces roches, se dressent deux volcans tronconiques comportant chacun un cratère bien conservé; ce sont ceux que l'on voit, sur la figure 2 de la planche VIII, se profiler à l'horizon, à droite d'un massif montagneux, le massif du Fantalé.

Derrière ces volcans, se trouve une nappe d'eau qui correspond peut-être au lac Méta'hara, indiqué par les cartes dans cette région; plus loin encore, on distingue dans le désert le ruban verdâtre dû à la maigre végétation qui garnit les rives de l'Aouache; enfin, aux confins de l'horizon, s'estompe le profil de la falaise des Aroussis, laquelle, ainsi que je l'ai rappelé au début de cet aperçu géologique, constitue le bord nord-ouest du plateau somali.

Entre Mantacoré-Tchoba et Gadabourka, l'itinéraire traverse une région d'altitude moyenne par rapport au désert Dankali et au Choa (1500 à 1700 mètres), où les naturels se livrent avec succès à la culture; cette région, le Minjar, correspond aux parties élevées des Kouallas abyssins (1).

En s'avancant sur Gadabourka, on distingue de fort loin le bord du plateau du Choa. Ce plateau, qui dans son extrême partie orientale est faiblement incliné vers l'est, se termine brusquement par une falaise nord-sud extrêmement abrupte, que de Gadabourka on voit se prolonger au loin vers le nord et vers le sud. Le bord de ce plateau présente un certain nombre d'anfractuosités correspondant à de très courtes

(1) Selon la nature des productions animales et végétales du sol, les Abyssins distinguent dans leur pays les *Kouallas* et les *Deugas*, correspondant respectivement à des régions dont l'altitude est inférieure ou supérieure à 2 000 mètres; en outre, ils désignent souvent sous le nom de *Woïna deuga* (ou *deuga* propre à la culture de la vigne) des régions intermédiaires dont l'altitude varie de 2 000 à 2 400 mètres (A d'Abbadie, *Douze ans dans la Haute-Éthiopie (Abyssinie)*, 1868, p. 82-86).

vallées que de petites rivières tributaires du Kassam ont entaillées dans les nappes de laves superficielles (Pl. VII, fig. 2).

Si l'on considère le profil d'itinéraire annexé à la carte, on sera frappé du caractère de faille en escalier que met en lumière, pour la région que nous envisageons, la coupe est-ouest comprise entre Tadetchamalka et Addis-Abbeba. En un seul point cependant, entre Baldji et Gadabourka, il m'a été possible d'observer un accident géologique assimilable à une faille; là, se produit la dénivellation la plus



Fig. 7. — Le village de Baldji, au bord du plateau du Choa.

brusque entre deux échelons successifs de notre escalier donnant accès au Choa; là précisément, cette dénivellation se présente nettement avec certains des caractères propres aux failles.

La coupe ci-jointe, normale au ravinement qui existe entre Gadabourka et Baldji (fig. 8), montre qu'entre ces deux localités la différence d'altitude est de 280 mètres environ.

Les deux plateaux aux bords desquels se trouvent situées respectivement ces deux localités, se montrent recouverts superficiellement de deux nappes horizontales et superposées de pantellériles; sur leur bord, ces nappes sont nettement sectionnées dans des plans à peu près

verticaux, et elles ne présentent aucune inflexion dans le voisinage de leur sectionnement; de plus, on constate sur le terrain que les nappes pantelléritiques du plateau supérieur se présentent respectivement identiques en nature et en puissance à celles du plateau inférieur.

De semblables caractères ne peuvent s'appliquer qu'à une faille proprement dite ou à une sorte de cascade rocheuse qui se serait produite par suite de l'écoulement des roches pâteuses sur une surface de terrain présentant une sinuosité accentuée, et dans laquelle, postérieurement à la solidification des roches, l'érosion aurait déterminé un ravinement parallèlement à l'axe de cette sinuosité.

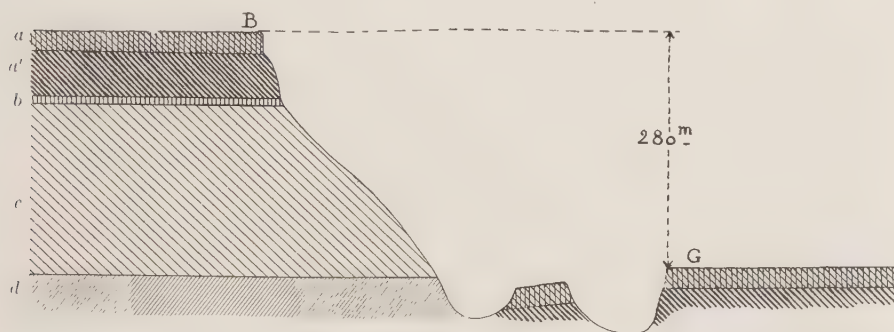


Fig. 8. — Coupe du ravin de Baldji.

B, Baldji, vill. abyssin ; G, Gadabourka, lieu de campement. — *a* et *a'*, Pantellérites ; *b*, Trachyte augitique ; *c*, Trachyte à anorthose ; *d*, Basalte porphyroïde.

De ces deux hypothèses, celle relative à la faille me paraît la seule admissible, car si une telle sinuosité avait affecté les laves de surface entre Baldji et Gadabourka, les plans de séparation des nappes pantelléritiques se montreraient incurvés près des sections qu'elles présentent le long du ravinement, ce qui n'est pas le cas, comme la figure 1 de la planche VII et la figure 9 du texte permettent de le constater ; en outre, il paraît assez peu vraisemblable qu'une cascade de lave se soit produite avec l'ampleur que comporterait un ravinement tel que celui de Baldji Gadabourka, que j'ai vu se poursuivre avec continuité sur une longueur de plus de 40 kilomètres.

La falaise de Gadabourka ne permet pas de voir quelle est la

nature du soubassement des roches pantelléritiques ; mais du côté de Baldji, les nappes de ces roches reposent, par l'intermédiaire d'un banc épais de trachyte augitique de couleur noire, sur de puissantes assises de trachytes à anorthose présentant des facies variés ; ce sont des obsidiennes (renfermant fréquemment des sphérolites détachables), des roches rubanées très vitreuses, compactes ou ponceuses, rappelant



Fig. 9. — Le ravin de la Chonkora. Vallée normale à la falaise terminale du Choa

beaucoup par leur aspect les rhyolites de Hélabala dans l'Afar. Sous ces roches, tout au fond du ravin, des basaltes porphyroïdes identiques à ceux de Guildessa servent de soubassement à toute cette accumulation de roches alcalines.

A partir de Baldji, le voyage, jusqu'à Addis-Abbeba, se poursuit sur le plateau choa, au sujet duquel je n'ai rien à ajouter à ce que j'ai dit précédemment.

Le Plateau Somali. — Dans le but de présenter mes observations avec plus de continuité, je reprendrai mon itinéraire de l'Afar au point de

Guildessa, là où la route désertique change brusquement d'orientation, et je ferai la description du chemin muletier qui part de Guildessa, et qui, passant par Harrar et le plateau somali, conduit à Addis-Abbeba dans un sens inverse de celui que j'ai suivi en réalité.

C'est à quelques kilomètres au sud de Guildessa, que l'on quitte le pays désertique de l'Afar, et que l'on commence à gravir les contreforts de la falaise qui borde le plateau somali au nord.

Pendant la première partie de cette ascension, le chemin passe sur des basaltes porphyroïdes identiques à ceux de la région que nous venons de quitter; en de nombreux points, on voit ces roches constituer le revêtement de masses considérables de calcaires stratifiés, dont les couches fortement redressées pendent vers le nord. Ces calcaires, très siliceux, sont fossilifères : je reviendrai plus loin sur la nature des fossiles qu'ils renferment.

A deux heures environ de Guildessa, commencent à paraître des schistes amphiboliques; on les voit bientôt associés à des granulites, qui, en bancs offrant les puissances les plus variées, viennent s'interstratifier dans leur masse. A Checkcherbé, ce phénomène de granulitisation se présente avec une grande ampleur, et l'on observe en grand nombre aux abords de cette localité des bosses granulitiques, où la muscovite est largement développée, ainsi que des pointements, les uns essentiellement quartzeux, les autres essentiellement quartzeux et feldspathiques, ces derniers constituant sous forme massive des pegmatites graphiques fort bien caractérisées.

Entre Checkcherbé et Belaoua, le chemin passe exclusivement sur des granulites, pour reprendre après cette dernière localité sur des calcaires et des basaltes porphyroïdes jusqu'au col de l'Ecco (fig. 10), point où l'on voit ces roches, associées à des grès, groupées dans l'ordre de succession suivant : calcaires, grès, basalte. Ce basalte se montre encore analogue aux basaltes porphyroïdes de la région de Guildessa.

Peu de temps après avoir quitté le col de l'Ecco, en marchant sur Harrar, commence une région granitique, à la surface de laquelle sont

disséminés des blocs de toutes dimensions, d'un beau granite normal, dans lequel l'élément feldspathique constitue de larges cristaux rosés; la figure 3 de la planche V donne une idée de l'aspect de cette région granitique, qui ne diffère en rien (abstraction faite de la végétation) des régions de même nature pétrographique de nos pays.

On chemine jusqu'à Harrar sur ces granites et sur leurs produits de désagrégation et de décomposition. C'est toujours cette même



Fig. 10. — Le col de l'Ecco. Vue sur le nord.

nature de terrain que l'on observe jusqu'aux environs de Karsa. La dénomination de Harrari me semble correspondre à ce plateau granitique assez faiblement vallonné que l'on traverse entre le col d'Ecco et Karsa.

A Karsa se trouve une masse importante d'une microsyénite quartzifère à facies granitique (fig. 11). Cette roche constitue une haute falaise à peu près verticale, formant en cette localité le bord du plateau somali; elle est associée sur le terrain, d'une façon que je ne puis préciser, à des basaltes porphyroïdes, à des quartzites à tourmaline et à des schistes amphiboliques injectés de granulite.

Un peu après Karsa, vers l'ouest, le pays change tout à fait d'allure, et se poursuit jusqu'au bout, vis-à-vis du massif du Fantalé, en offrant un caractère à peu près uniforme; c'est la région montagneuse du Tchercher, très vallonnée et verdoyante, rappelant le Valais. Le chemin menant de Harrar à Addis-Abbeba serpente dans le Tchercher, tantôt en adoptant le fond des vallées en bordure du plateau, tantôt en longeant le bord même de ce plateau, passant par des points offrant des altitudes très variées.



Fig. 11. — Blocs de microsyénite quartzifère. Karsa.

Dans cette région, les roches sédimentaires se rencontrent avec fréquence; ce sont des grès, dont le grain est plus ou moins grossier, dont la couleur varie entre le rose et le rouge, et des calcaires.

Les grès, qui ne se montrent jamais fossilifères, reposent en plusieurs endroits sur les calcaires, roches que je n'ai trouvées quelque peu chargées de fossiles que dans la région de Tcheffe-Hanani (fig. 12); je reviendrai un peu plus loin sur la nature de ces fossiles.

On voit souvent ces roches sédimentaires servir de soubassement à des nappes de laves qui, quelquefois, recouvrent d'une couche

rocheuse horizontale le sommet de certaines hauteurs, en leur communiquant une apparence tabulaire.

Là où j'ai eu l'occasion de parcourir de semblables sommets, j'ai toujours constaté que le revêtement superficiel était constitué de roches basaltiques à facies doléritique. A Kara-Kourkoura en particulier, non loin du lac Tcherche (fig. 13), ces rochers reposent sur des pantellérites dont des basaltes porphyroïdes constituent le soubassement ;



Fig. 12. — Falaises calcaires. Tcheffe-Hanani.

il est à remarquer que cet ordre de succession de la venue de ces roches éruptives est identique à celui que j'ai signalé plus haut en traitant de l'Afar (1) (Voy. p. 17, fig. 5).

Toute la région du Tchercher se montre d'une grande monotonie au point de vue des roches que l'on trouve à la surface du sol ; ce sont le plus généralement des basaltes porphyroïdes et des calcaires, ces

(1) C'est en gravissant une montagne en bordure de la falaise, au nord de Kara-Kourkoura, que j'ai fait cette constatation ; de plus je signalerai, au milieu des basaltes porphyroïdes de cette montagne, un riche gisement superficiel de zéolites : stilbite, mésotype, chabasie, heulandite, etc.

dernières roches se présentant de préférence dans le fond des vallées. Dans la vallée de Bourka, je dois cependant signaler un gisement de phonolites qui, avec la pantellérite de Kara-Kourkoura et la microsyénite de Karsa, constituent les seuls accidents pétrographiques offrant de l'intérêt pour la thèse que je développerai plus loin.

La route se termine dans le Tchercher au col de Laga-Hardine, d'où l'on descend rapidement dans le désert Dankali, par un sentier passant à Ardaga, sur des trachytes à anorthose analogues à ceux que nous avons vus, à Baldji, servir de soubassement aux nappes pantelléritiques. Il est possible que, là encore, ces trachytes soient antérieurs aux pantellérites; ces dernières roches, en tout cas, existent dans leur voisinage, à en juger par un des échantillons de la collection DE ROTHSCHILD, qui a été recueilli à Laga-Hardine.



Fig. 13. — Le lac Tchercher vu de Kara-Kourkoura.

Une fois dans le désert, ce sont encore les pantellérites qui constituent les roches superficielles du territoire s'étendant entre le pied de la falaise que nous venons de descendre et le point où la route désertique des caravanes traverse l'Aouache.

Du col de Laga-Hardine, le voyageur découvre sur le bassin de l'Aouache un panorama aussi grandiose que celui que l'on avait sous les yeux à Mantacoré-Tchoba; à ses pieds, les contreforts du plateau somali, puis le désert, avec au loin la ligne verdâtre de la végétation des rives de l'Aouache; plus loin encore, le massif du Fantalé (Pl. V, fig. 6), précédé de la chaîne trachytique des monts de

l'Aouache (1) (Pl. V, fig. 5); sur l'ouest de ce massif, se distinguent encore les deux cônes à cratère que l'on voyait de Mantaoré-Tchoba; enfin, aux confins de l'horizon, s'estompe le profil de la falaise qui borde au sud-est le plateau abyssin.

Il me faut maintenant revenir sur la nature des fossiles que j'ai trouvés en différents points du plateau somali, fossiles que j'ai cru devoir examiner dans leur ensemble en raison de l'absence de données stratigraphiques concernant les calcaires qui les renferment.

A Guildessa, à 2 kilomètres environ, à l'ouest du village, j'ai trouvé des débris d'une ammonite que certains de ses caractères permettent de rapprocher du *Périsphinctes Gallarum* (Kiméridgien) décrit par Dacqué (2); on trouve ces fossiles associés à des polypiers indéterminables.

Entre Belaoua et le col de l'Ecco, un bloc de calcaire m'a fourni de nombreuses rhynchonelles et une térébratule. Les rhynchonelles sont tout à fait analogues aux *Rhynchonella Somalica* (Kiméridgien) décrites par Dacqué (1); quant à la térébratule, à laquelle manque malheureusement le crochet, elle peut être rapprochée des *Ter. subsella* (Kiméridgien).

Enfin, à Tcheffe-Ilanani, se trouvent des calcaires renfermant en grande abondance des astraea et des débris de lamellibranches. Les premiers de ces fossiles sont indéterminables; quant aux seconds, ils correspondent aux *Pinnigena* de l'Oolithique moyen.

Tous ces calcaires, on le voit, sont à peu près du même âge; ils se trouvent aussi bien au bas qu'à mi-hauteur et au sommet de la falaise qui limite au nord le plateau somali entre Harrar et Laga-Hardine, et leur âge est comparable à celui des calcaires de l'Oolithique moyen décrits par Dacqué dans la partie orientale de cette même falaise. Comme sur le plateau abyssin, il semble donc que sur le plateau somali

(1) Je n'ai que de mauvais échantillons des roches constituant ces montagnes; ces roches sont des trachytes à oligoclase et à hornblende.

(2) Dacqué, *Op. cit.* I Theil: untere Kreide, XVIII, 1904, p. 127 (9), pl. XIV.

toutes les roches effusives que l'on rencontre à la surface du sol soient postérieures au dépôt des terrains kiméridgiens.

En résumé, dans toute la région que j'ai parcourue, les roches volcaniques paraissent constituer la majeure partie des terrains superficiels.

Ces roches volcaniques appartiennent à trois venues éruptives successives ayant donné naissance respectivement à des roches basaltiques anciennes de facies prophyroïde, à des roches acides de nature alcaline, et à des roches basaltiques récentes de facies doléritique.

Les plus anciennes de ces roches reposent en quelques endroits sur des roches sédimentaires, dont l'âge permet de considérer les venues éruptives de notre région comme étant toutes postérieures au dépôt des terrains de l'Oolithique inférieur.

Si l'hypothèse par laquelle on envisage l'Afar comme une région constituant une pièce déprimée de la surface du globe est fondée, il doit exister, abstraction faite des dénivellations, une certaine continuité géologique entre cette région et les hauts plateaux qui la bornent. C'est ce qui résulte en effet d'un certain nombre des observations d'ordre stratigraphique que j'ai consignées dans la description de mon itinéraire, et qui peuvent se résumer ainsi :

Des observations d'un certain nombre d'auteurs, comme des miennes propres, il résulte d'abord de manière positive, que partout où les roches volcaniques se montrent en contact avec des roches sédimentaires d'âge déterminable, ces roches sont, aussi bien dans l'Afar que dans les plateaux abyssin et somali, toutes postérieures à l'Oolithique inférieur.

En outre, d'une part, en ce qui concerne les relations entre l'Afar et le plateau somali, je rappellerai les faits suivants :

A Guildessa, au bas de la falaise du plateau somali, aussi bien que dans les contreforts de cette falaise et à son sommet (col de l'Ecco), les mêmes basaltes prophyroïdes se trouvent en contact immédiat avec

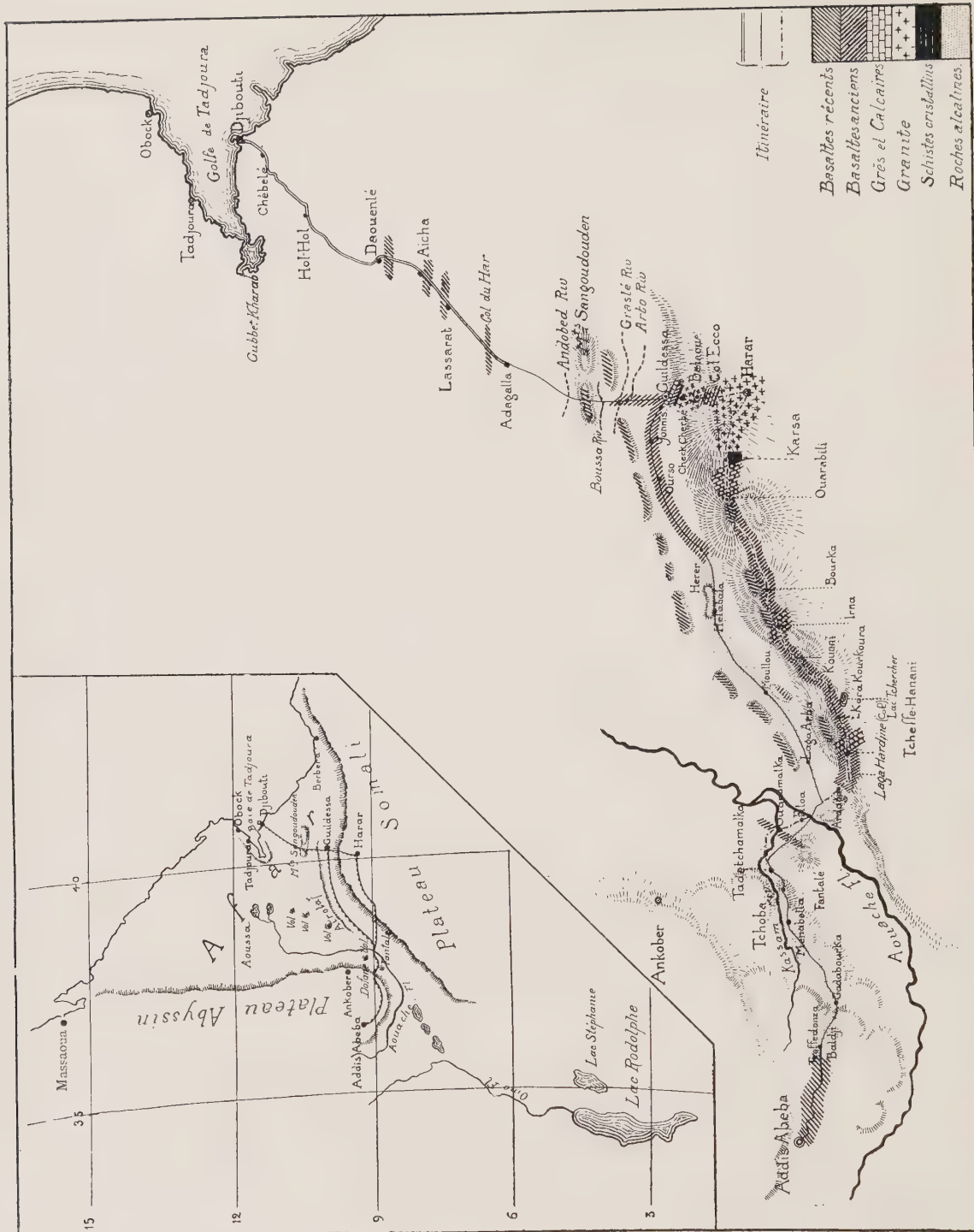


Fig. 14. — Itinéraire de Djibouti à Addis-Abeba.

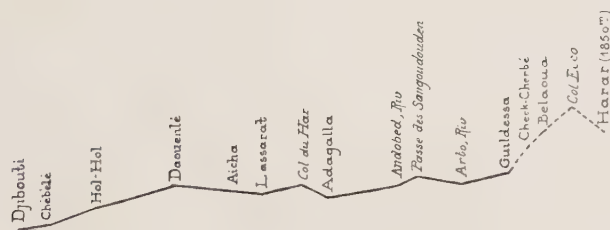


Fig. 15.

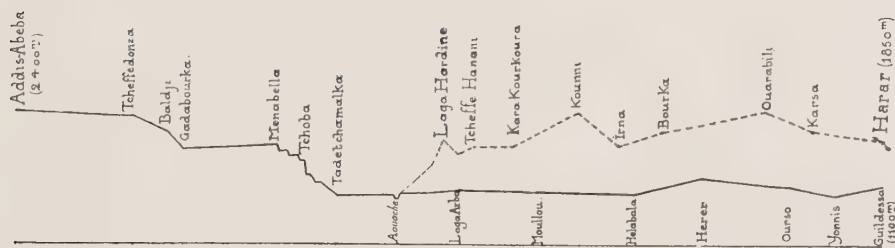


Fig. 16.

La carte (fig. 14) permet de suivre l'itinéraire qui vient d'être décrit : la plupart des données géographiques qui y sont reportées proviennent de documents cartographiques récents ; cependant, en général, la représentation des hauteurs a plutôt un caractère schématique qu'un caractère d'exactitude, cet à peu près étant nécessité par les besoins de la figuration des terrains géologiques, qui, autrement, ne pourraient ressortir à une échelle aussi restreinte que celle que j'ai cru devoir adopter pour l'exécution de cette carte.

Sur les figures 15 et 16, sont représentés les profils altimétriques de mon itinéraire ; l'un d'eux (fig. 15) concerne sa partie comprise entre Djibouti et Harar, l'autre (fig. 16), sa partie orientée de l'est à l'ouest ; ce sont respectivement des projections de ces deux parties, l'une sur un plan méridien, et l'autre sur le plan déterminé par un parallèle terrestre.

les roches sédimentaires du Jurassique supérieur ; ce sont ces mêmes basaltes que l'on retrouve presque partout au fond des vallées en bordure du plateau, se présentant toujours avec des caractères pétrographiques essentiels sensiblement constants.

Partout, sur le bord du plateau, entre Harrar et Laga-Hardine, les roches volcaniques les plus récentes sont, ainsi que dans l'Afar, constituées par des roches basaltiques à facies doléritique.

En un point, Kara-Kourkoura, la succession des venues éruptives se montre identique en ordre et en nature à celle observée dans l'Afar.

En ce qui concerne les relations du plateau abyssin et de l'Afar, rappelons-nous que toute la montée vers le Choa s'effectue sur des pantellérites recouvertes en certains points de basaltes doléritiques, sans qu'il y ait de transition appréciable entre la nature pétrographique de ces roches et celle des pantellérites et des dolérites basaltiques de l'Afar. Rappelons-nous aussi qu'on observe à Baldji des basaltes porphyroïdes toujours analogues à ceux dont il a été question à propos de l'Afar et du plateau somali et que, là encore, ces roches se montrent antérieures aux pantellérites.

Voici, enfin, un argument direct en faveur de l'hypothèse à laquelle je fais allusion plus haut : la brusque dénivellation qui s'observe entre Gadabourka et Baldji, je crois pouvoir l'attribuer à la production d'une faille qui ferait partie d'un système de failles en escalier existant entre Tadetchamalka et Baldji.

ÉTUDE PÉTROGRAPHIQUE

I. — EXAMEN MINÉRALOGIQUE.

Il est possible de distinguer, dans les roches alcalines de la région que j'étudie, trois groupes, caractérisés par diverses particularités minéralogiques dont la plus importante consiste dans l'importance relative du rôle que joue le quartz de première consolidation.

Ces roches seront divisées ainsi qu'il suit :

1° *Roches à quartz primaire essentiel constant ;*

2° *Roches à quartz primaire essentiel ne se présentant que d'une façon irrégulière* (1) *(pantellérites)* ;

3° *Roches dépourvues de quartz primaire.*

En raison des considérations qui seront développées plus loin, je commencerai mon étude pétrographique par les pantellérites.

A. Pantellérites. — Ces roches constituent, dans le territoire que j'ai parcouru, des nappes rocheuses puissantes, et offrant une extension considérable. J'ai pu constater personnellement que ces nappes recouvraient d'une façon à peu près continue plus de deux cents kilomètres de mon itinéraire dans l'Afar et dans le Choa ; de plus, l'étude que j'ai faite des échantillons rapportés par M. M. DE ROTHSCHILD montre que ces nappes doivent s'étendre sur une grande partie du territoire où coule l'Aouache en amont du massif du Fantalé. Il résulte de ces observations

(1) Pour désigner ces roches, j'emploierai dès le début de mon étude micrographique le nom de *pantellérite*, nom dont l'emploi sera justifié au cours du premier paragraphe (A) de ce chapitre.

personnelles, ainsi que des déterminations faites par ROSIWAL pour certains échantillons provenant de la région d'Ankober, que les pantellérites jouent, au moins dans l'Afar, un rôle des plus importants.

Mais la présence de ces roches n'est pas limitée à la région désertique dont il vient d'être question; elles sont également représentées dans la région des hauts plateaux. En effet certains échantillons, dont plusieurs ont été recueillis par moi-même, montrent qu'elles existent fort avant sur le plateau abyssin (1) et qu'elles se retrouvent également sur le plateau somali (Laga-Hardine, Kara-Kourkoura).

Enfin l'étude que j'ai faite de la collection Botta (Coll. géol. du Muséum d'histoire naturelle) montre que des roches de même nature se rencontrent en dehors du continent africain, sur la côte occidentale de l'Arabie (2).

L'importance géologique de notre premier groupe de roches alcalines étant ainsi établie, voici maintenant quels sont ses caractères pétrographiques.

Les roches de notre premier groupe sont verdâtres, grossièrement fissiles, tantôt compactes et pierreuses, tantôt vitreuses; dans le premier cas (Pl. IX, fig. 1), elles renferment de nombreuses lithophyses blanchâtres; dans le second elles constituent de véritables obsidiennes (Pl. IX, fig. 2), vertes et parfois translucides (3).

Dans la majorité des cas, ces roches présentent un caractère fluïdal, se manifestant à l'œil nu par l'allongement, suivant des directions parallèles des sections rectangulaires de feldspaths aux reflets chatoyants qui sont répartis dans leur masse. Ce caractère de fluidalité se trouve accentué par l'allongement des lithophyses en forme de boutonnière qui se sont évidées dans la pâte.

Ce sont les types compacts, riches en lithophyses, qui montrent le plus grand nombre de phénocristaux feldspathiques, auxquels

(1) Un de ces échantillons a été trouvé par M. NEUVILLE à Addis-Abbeba.

(2) En outre, M. PRIOR signale, dans sa description des roches de « the great rift Valley », des roches qu'il assimile, au point de vue magmatique, à des pantellérites (*Min. Mag.*, n° 61, 1903, p. 245).

(3) Ces roches renferment en outre des enclaves basaltiques visibles à l'œil nu.

viennent s'adjoindre quelques cristaux limpides de quartz bipyramidé. L'abondance des phénocristaux dans ces roches paraît être en raison inverse du développement du caractère vitreux de leur pâte.

A ces types, de beaucoup les plus répandus dans ce groupe, viennent s'associer étroitement sur le terrain, semblant constituer des accidents locaux des types compacts, des roches de même couleur, mais dépourvues de fluidalité, et présentant un aspect poreux (Pl. IX, fig. 3).

En lame mince, nos types compacts montrent une pâte composée en majeure partie par des bandes alternantes, translucides ou opaques, d'importances respectives des plus variables (Pl. X, fig. 1, 2, 3). Les parties translucides sont constituées par un verre de couleur claire, quelquefois transparent; celles qui sont opaques, le sont par une matière isotrope verte, brun verdâtre, ou brune.

Tantôt le verre clair ne présente pas de solution de continuité; tantôt au contraire, il se montre vésiculaire, les cavités qu'il renferme dans ce dernier cas étant soit arrondies, soit allongées en forme de larmes étirées dans le sens de fluidalité de la roche; quand le nombre et le développement de ces vésicules prennent de l'importance, le verre devient ponceux.

En outre, cette matière renferme quelquefois une quantité innombrable de petits microlites filiformes, d'un vert bleuté, alignés dans le sens de fluidalité de la roche, et dont les dimensions restreintes ne permettent pas de déterminer la nature par des procédés optiques.

Enfin, dans certains échantillons, cette matière vitreuse contient des sphérolites feldspathiques, dont les éléments constitutifs sont peu biréfringents et présentent un allongement négatif.

Les formes obsidienniques des roches de ce groupe présentent les mêmes caractères que le verre clair dont il vient d'être question.

Quant aux bandes opaques, dont l'importance est quelquefois tout à fait prédominante, elles ne sont pas dissociées au microscope, même avec les plus forts grossissements.

Dans les traînées fluidales ainsi caractérisées, sont répartis irrégu-

lièrement, sous forme d'îlots, les phénocristaux, les microlites, les lithophysés et les enclaves de nos roches; seulement, l'examen en lame mince permet de voir que ces enclaves sont de deux sortes : les unes sont basaltiques (il en a déjà été question), les autres sont des enclaves *homœogènes*.

Éléments du premier temps de consolidation. — Les éléments du premier temps de consolidation comprennent du quartz, du feldspath et des minéraux colorés de nature pyroxénique ou amphibolique.

Le quartz, automorphe, se présente découpé d'anfractuosités; les feldspaths sont vitreux et *essentiellement* alcalins : sanidine, sanidine sodique et anorthose dépourvue des macles de l'albite, caractérisés par les extinctions et l'écartement des axes.

Les éléments colorés sont représentés par du diopside, de l'ægyrine-augite et de l'ægyrine pour les pyroxènes, et, pour les amphiboles, par de la cossyrite et un minéral monoclinique particulier que ses caractères ne me permettent pas d'assimiler à une des amphiboles signalées jusqu'à ce jour. La magnétite et l'ilménite ne figurent pas parmi les éléments colorés de ces roches.

Le diopside est vert clair et sans pléochroïsme. L'ægyrine-augite est vert d'herbe, à pléochroïsme peu intense, variant entre les teintes vertes et vert brunâtre; ses ~~cristaux~~ présentent assez souvent un revêtement périphérique d'ægyrine. L'ægyrine présente avec netteté les caractères de pléochroïsme bien connus du minéral, ainsi que le faible angle d'extinction dans la zone d'allongement et la haute biréfringence qui permettent de le distinguer aisément des autres métasilicates que l'on observe en général avec lui dans les roches alcalines.

La cossyrite, brune à pléochroïsme intense variant du rouge-acajou au brun très foncé, présente une extinction maxima d'environ 40° dans la zone d'allongement; son coefficient d'absorption est tel que, même dans les plaques les plus minces, il est impossible en lumière convergente de distinguer avec netteté les hyperboles, et par suite, de déterminer avec quelque rigueur ses propriétés optiques.

Quant à l'amphibole monoclinique spéciale à laquelle j'ai fait allusion un peu plus haut, ses propriétés sont les suivantes : elle possède un allongement positif avec une extinction maxima de 7° dans la zone d'allongement. La bissection aiguë est négative, avec un très faible écartement des axes optiques; le pléochroïsme est intense dans les teintes vertes et jaune brunâtre, avec $n_m > n_g > n_p$; enfin, sa biréfringence maxima est un peu inférieure à celle de la hornblende verte.

Le grand angle que présentent entre elles les traces des clivages dans les sections transversales à l'allongement, ainsi que les propriétés qui viennent d'être décrites, permettent de distinguer ce minéral des autres métasilicates pléochroïques, auxquels il se trouve associé dans le groupe de roches que nous étudions, et en particulier : de l'ægyrine-augite, dont les angles d'extinction dans la zone d'allongement sont bien supérieurs à 7° , de l'ægyrine et de la riébeckite bleue, dont le signe de la zone rapportée à l'allongement est négatif.

Les éléments colorés de nos roches sont très variables, tant par leur proportion globale que par leurs proportions respectives; seules parmi eux, l'ægyrine-augite et la cossyrite se rencontrent avec une relative constance, et constituent avec les feldspaths alcalins les minéraux *essentiels caractéristiques* des roches du groupe que nous étudions, les autres minéraux métasilicatés n'y jouant qu'un rôle *accessoire*. Quant au quartz primaire, il ne peut être considéré comme un minéral accessoire de ces roches, puisqu'il en constitue une des particularités les plus intéressantes, ainsi qu'il ressortira des considérations développées ultérieurement; cependant on ne peut non plus lui attribuer les caractères d'un minéral essentiel constant, attendu qu'il se trouve réparti dans la masse de ces roches avec une irrégularité des plus accentuées, et en raison de laquelle j'ai fait du groupe de roches qui nous occupe : le groupe des « roches où la présence de quartz primaire essentiel se manifeste avec irrégularité ».

Éléments du second temps de consolidation. — Les éléments du second temps de consolidation ont en général peu d'importance; ils

sont constitués par des microlites et parfois par des sphérolites de feldspaths alcalins, ainsi que par des microlites allongés de ces mêmes pyroxènes et amphiboles sodiques qui existent au premier temps.

Lithophyses. — Les lithophyses affectent, nous l'avons vu, la forme d'une boutonnière; elles reproduisent, sous une forme plus ou moins complète, les associations minéralogiques auxquelles il vient d'être fait allusion, mais les minéraux qui les tapissent (auxquels vient s'adjoindre la riébeckite) présentent des formes nettes; quelquefois ils sont assez développés, mais le plus souvent ils sont aciculaires et groupés à axes parallèles, implantés normalement aux parois des cavités qui les renferment. Souvent les minéraux de ces lithophyses se montrent cimentés par une matière transparente et fort peu biréfringente, qui ne se présente jamais en éléments cristallins individualisés; cette matière de nature vraisemblablement siliceuse est peut-être de la tridymite.

Enclaves. — Ces enclaves sont, au sens de la classification de M. A. LACROIX, des *enclaves homœogènes* (1); elles sont de deux sortes: les unes, basaltiques, ne présentent aucun lien immédiat avec la roche englobante; les autres, au contraire, sont unies à elle par des liens minéralogiques étroits, tout en en différant au point de vue structurel.

Les enclaves basaltiques ne présentent pas d'intérêt pétrographique particulier, elles correspondent à des fragments des basaltes porphyroïdes qui constituent le soubassement des roches de notre groupe, ainsi qu'il a été dit dans l'aperçu géologique; la netteté de leur contour et le manque de transition entre la matière qui les constitue et celle qui les enveloppe, montrent que cette dernière n'était plus dans des conditions favorables pour réagir sur elles au moment de leur enrobage.

(1) *Les enclaves des roches volcaniques*, Mâcon, 1893.

Le deuxième type d'enclaves présente au contraire un grand intérêt, non seulement au point de vue de leur nature minéralogique et structurale, mais encore à celui du développement ultérieur de nos conclusions.

Ces enclaves sont à peu près toutes holocristallines; elles présentent une composition minéralogique en relation avec celle que nous avons décrite plus haut pour les roches qui les renferment, avec cette différence cependant, que le quartz y est soit essentiel et abondant, soit seulement accessoire; ces formes holocristallines sont donc à comparer soit à des microsyénites très quartzifères ou à des microgranites, soit à des microsyénites dans lesquelles le quartz ne jouerait qu'un rôle accessoire.

Par suite, selon les cas, ces enclaves ont sensiblement la même composition que la roche englobante (enclaves homœogènes *homologues*), ou bien au contraire sont plus basiques que celle-ci (enclaves homœogènes *antilogues*). Jamais elles ne présentent de véritable structure grenue; ce sont, dans la classification de M. A. LACROIX, des enclaves homœogènes *plésiomorphes* (1).

Je crois inutile de poursuivre la description de ces enclaves homœogènes, étant donné qu'elle ferait presque double emploi avec celle des formes holocristallines des deux groupes qu'il me reste à étudier (2). Je me bornerai à signaler que, parmi ces enclaves, les antilogues sont les plus fréquentes; dans un certain nombre d'entre elles, le quartz s'observe en quantité assez appréciable, mais le plus

(1) A. LACROIX, *La montagne Pelée et ses éruptions*, Paris, 1904, p. 537.

(2) On peut faire sur l'origine de ces enclaves deux hypothèses: 1° admettre qu'elles ont été arrachées à des coulées antérieures, et dans ce cas, elles sont à comparer aux roches qui vont être décrites plus loin; à cette hypothèse on peut objecter que des pantellérites riches en enclaves homologues et antilogues se trouvent loin de tout massif de roches microgranitiques ou microsyénitiques, reposant directement sur des basaltes porphyroïdes; 2° on peut admettre qu'elles représentent des cristallisations effectuées dans le magma lui-même, au cours de son ascension, et par suite dans des conditions différentes de celles qui ont accompagné la consolidation de la roche englobante, ce qui permet d'expliquer à la fois leurs différences de composition minéralogique et de structure avec celle-ci.

souvent, ce minéral y est peu abondant, et quelquefois enfin, il ne présente plus qu'un caractère purement accidentel. Il semble qu'à ces valeurs diverses de la proportion de quartz dans ces enclaves correspondent respectivement des structures microgrenues, intersertales et phonolitiques. Des variations analogues ne s'observent pas dans les enclaves que je qualifie d'acides, et dont la structure est essentiellement microgrenue.

Tels sont les types compacts de ces roches ; quant aux types poreux qui constituent, ainsi qu'il a été dit plus haut, des accidents locaux dans les nappes des précédentes, ce ne sont que des variétés des types compacts. Ils ne diffèrent en effet essentiellement de ces derniers que par la nature de leur matière vitreuse : celle-ci présente des solutions de continuité plus ou moins nombreuses, et se montre en outre dans un état de dévitrification assez avancé.

Il résulte de ce qui précède, qu'au point de vue micrographique aussi bien qu'au point de vue géologique, ces types tufacés sont des dépendances du groupe de roches qui nous occupe, ce sont des variétés structurelles de leurs types lithoïdes ; par suite, un qualificatif relatif à leur facies suffit à les distinguer des autres roches de même famille pétrographique auxquelles elles sont associées, et rien ne légitimerait l'emploi d'une dénomination plus particulière pour leur désignation (1).

En résumé, les roches que nous venons d'étudier sont caractérisées, au point de vue minéralogique, par l'irrégularité de la présence du quartz de première consolidation et par la nature alcaline de leurs feldspaths ; par la présence de l'ægyrine-augite, de la cossyrite et

(1) Par leurs caractères extérieurs, ces roches poreuses se montrent analogues aux *comendites*, roches au sujet desquelles est consacré l'article suivant dans le Lexique pétrographique annexé aux *Comptes rendus du VIII^e Congrès géologique*, p. 1057-1901 :

« *Comendite*, Bertolio, 1895. Liparite à ægyrine arfvedsonite. D'après Rosenbusch, les *comendites*, parallèles aux *paisanites*, sont des formes d'épanchement des granites alcalins à ægyrine et arfvedsonite. Pour Læwinson-Lessing, roches de passage entre les liparites et les *pantellerites* = *Pantelleritliparit* (*Rendiconti d. R. Accad. dei Lincei*, 1895, IV (5), 48). »

d'un certain nombre de métasilicates à caractéristique sodique, pyroxéniques ou amphiboliques, et enfin par l'absence de feldspaths calcosodiques, de magnétite et d'ilménite. Seuls parmi ces éléments, les feldspaths, l'ægyrine-augite, la cossyrite et le quartz quand il existe, peuvent être considérés comme essentiels; les autres sont seulement accessoires.

Tous ces minéraux sont noyés dans une matière isotrope de nature fluidale, dont la masse prédomine dans la pâte de la roche. Dans cette matière isotrope, des enclaves homogènes se sont développées en nombre assez considérable, et des lithophyses s'y sont évidées, tapissées de minéraux automorphes; enclaves et lithophyses présentent des associations minéralogiques comparables à celle constituée par l'ensemble des minéraux qui existent dans la roche, soit à l'état de phénocristaux, soit à l'état de microlites.

En raison du rôle que joue le quartz primaire dans leur composition minéralogique, ces roches seront susceptibles d'être affectées de dénominations différentes, selon que l'on se trouvera en présence d'échantillons renfermant du quartz primaire ou n'en renfermant pas; au sens d'une classification purement minéralogique, on fera des premiers des *rhyolites* et des seconds des *trachytes*.

A l'appui de cette manière de voir, j'ajouterai que j'ai eu en mains de nombreuses roches de Pantelléria, qui à tous les égards sont semblables aux roches de l'Est-Africain dont nous venons d'examiner les caractères; les lames minces leur correspondant avaient été depuis longtemps étiquetées par les soins de M. Fouqué, qui, suivant les cas, les avait déterminées ainsi qu'il suit : obsidienne trachytique à sanidine, obsidienne trachytique à cossyrite, rhyolite à sanidine, obsidienne rhyolitique à sanidine et cossyrite, trachyte à sanidine et cossyrite, obsidienne trachytique à anorthose, sanidine et cossyrite, etc., etc.

Il sera donc légitime, au point de vue strict de notre classification, de nommer respectivement les échantillons de nos roches auxquels je faisais allusion plus haut : rhyolites et trachytes alcalins à ægyrine-

augite et cossyrite, mettant ainsi en évidence le caractère exclusivement alcalin de leurs feldspaths, ainsi que la nature de leurs éléments colorés essentiels.

Cependant, si correctes que puissent être ces appellations, elles ne peuvent plus convenir, quand il s'agit de voir plus loin que la stricte détermination d'une lame mince, et lorsque l'on fait intervenir dans cette question de détermination des considérations de gisement.

En effet, on remarque pour nos roches, que, probablement en corrélation avec une variation se produisant dans les proportions respectives de la matière isotrope et des éléments cristallins qu'elle renferme, deux échantillons provenant d'emplacements contigus dans une même nappe de lave, et qu'aucun caractère extérieur ne différenciera, pourront en lame mince se présenter l'un comme trachyte, l'autre comme rhyolite.

Il ne semblera donc pas surprenant, qu'après avoir estimé qu'il n'y avait pas lieu de distinguer par une dénomination spéciale les pantellérîtes poreuses des pantellérîtes compactes, pour une simple question de différence de structure d'importance secondaire, je trouve légitime *a fortiori* de ne pas scinder le groupe des roches envisagées, en prenant uniquement en considération cette base si incertaine de la présence ou de l'absence du quartz de première consolidation (1) ; aussi, je réunirai toutes ces roches, quartzifères ou non, poreuses ou compactes, sous une même dénomination, et j'adopterai pour les désigner, le nom de PANTELLÉRITE, que créa Förstner (2) pour ces rhyolites et ces trachytes alcalins de l'île de Pantelléria, qui, ainsi que je l'ai dit plus haut, présentent les plus complètes analogies avec les roches de l'Est-Africain étudiées dans ce paragraphe.

(1) Cette opinion sera appuyée dans l'étude chimique, à l'aide des considérations qui font l'objet du prochain chapitre, considérations qui découlent de l'interprétation des résultats fournis par les analyses en bloc d'un certain nombre de pantellérîtes.

(2) FÖRSTNER, Nota preliminare sulla geologia dell' Isola Pantelleria. *Bull. com. Geol. d'Italia*, 1881, XII, p. 513-556, et *Zeitschr. f. Krist.*, 1884, VIII, p. 123-202,

Les *Pantellérites* sont donc, à mon sens, des roches effusives caractérisées, *au point de vue minéralogique*, par la nature alcaline de leurs éléments silicatés; elles occuperont, en raison du caractère particulier présenté par leur quartz primaire, une position intermédiaire dans notre classification, relativement aux rhyolites et aux trachytes alcalins.

Indépendamment des arguments que je viens d'exposer en faveur d'une désignation spéciale pour ces roches, j'en ajouterai un autre, dont la valeur est, à mon sens, indiscutable au point de vue régional : c'est que l'ensemble des roches présentant les caractères de famille précédemment décrits constituent, sous la forme de nappes puissantes, des masses rocheuses considérables et recouvrent, ainsi qu'il a été dit au début de ce paragraphe, une partie appréciable de la surface du globe.

B. Roches à quartz primaire essentiel. — Ces roches se divisent au point de vue structural en deux classes : l'une comprend des types semi-cristallins, ce sont des rhyolites (*a*); l'autre comprend des types holocristallins, ce sont des microgranites (*b*).

a. Rhyolites. — Les rhyolites alcalines que nous étudions correspondent à deux types et paraissent être localisées dans l'Afar, où elles constituent, soit des masses rocheuses très importantes, soit des roches de soubassement de nappes basaltiques d'âge récent.

Ces deux catégories de roches présentent respectivement des caractères extérieurs relativement constants qui permettent de les distinguer sur le terrain.

Les unes, compactes, de couleur généralement rougeâtre, constituent dans leurs formes de dénudation des pitons plus ou moins aigus; dans leur pâte, on distingue en quantité variable, mais toujours appréciable, des cristaux de quartz bipyramidé et des sections rectangulaires de feldspaths à reflets chatoyants; accidentellement, à ces derniers cristaux viennent s'adjoindre des lamelles de fer oligiste. Les autres, dans la pâte grisâtre, verdâtre ou violacée desquelles les éléments quartzeux et feldspathiques sont peu abondants, constituent des roches rubanées

dont les lits alternants offrent les épaisseurs respectives les plus variées et affectent des colorations brun violacé et rosâtre ou vert et rosâtre ; elles ont l'apparence de roches finement stratifiées, présentant accidentellement des plissements dont les sinuosités sont parfois très capricieuses (fig. 17). Ces roches sont relativement fissiles, le plus souvent très vitreuses, et selon le degré d'accentuation de ces caractères, elles présentent soit un facies obsidiennique, soit un facies trachytique. Ces types rhyolitiques sont accompagnés d'obsidiennes proprement dites, noires ou grises, à cassure perlitique.

Toutes ces roches présentent des caractères micrographiques communs qui ont été mis en évidence pour la première fois par M. A. LACROIX, dans sa description des « Rhyolites à ægyrine et riébeckite de la côte française des Somalis » (1). Leur examen en lame mince montre que leur élément feldspathique est exclusivement constitué par de l'orthose sodique ou bien de l'anorthose sans macle de l'albite ; parmi les phénocristaux ne figurent ni feldspaths calcosodiques, ni éléments métasilicatés ferrifères. Leur pâte, le plus souvent très vitreuse, renferme de l'orthose en microlites ou en sphérolites à allongement négatif, dont les individus ou groupes d'individus sont associés à des éponges de quartz globulaire aux anfractuosités remplies de matière vitreuse.

L'élément coloré dans les rhyolites compactes se présente uniquement sous la forme de granulations d'oligiste qui, groupées ou isolées, sont réparties d'une façon irrégulière dans la pâte, tandis que, dans nos types rubanés, il est constitué de pyroxène et d'amphibole sodiques que leurs propriétés optiques d'extinction, de biréfringence et de pléochroïsme permettent d'identifier à de l'ægyrine et à de la riébeckite. Ces minéraux se montrent rassemblés de préférence dans les bandes foncées de ces roches, formant d'innombrables microlites filiformes alignés dans le sens de la fluidalité, ou de petits groupements pœcili-

(1) *C. R.*, CXXX, 1900, p. 1208.

Dans la description qui va suivre, je ferai de nombreux emprunts à la note de M. LACROIX, dont certains passages seront même reproduits textuellement ici.

tiques. Quant aux bandes claires qui alternent avec les bandes riches en éléments métasilicatés, leur texture est moins compacte que celle des précédentes; elle est fréquemment poreuse, et renferme souvent des lithophyses dont les parois sont garnies de cristaux de feldspath, d'ægryrine et de riébeckite.

Enfin les types rubanés montrent des accidents particulièrement

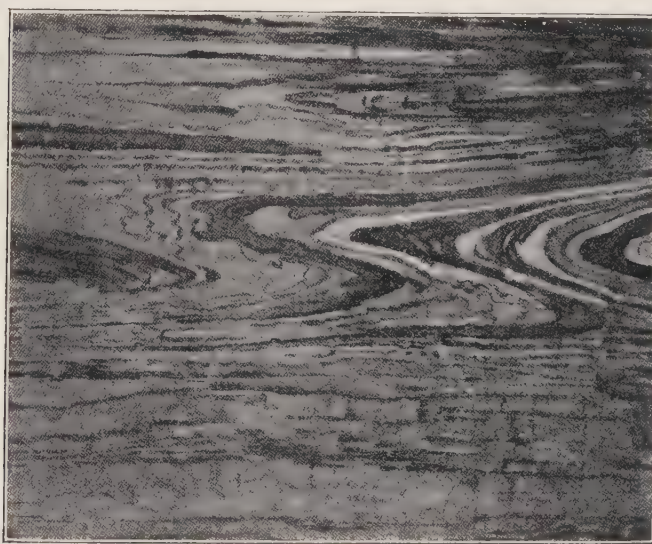


Fig. 17. — Exemple de sinuosité affectant les lits des Rhyolites rubanées de Hôlabala.
1/15 grand. nat.

intéressants; « en effet, dans certains échantillons, la continuité de la roche est rompue d'une manière capricieuse; souvent même, celle-ci n'existe plus que sous forme de petits lambeaux ayant conservé leur position primordiale au milieu de la masse de couleur différente qui les englobe. Les zones dont il vient d'être question sont toujours plus largement cristallisées que la roche normale; leur structure est holocristalline. Les éléments ferrugineux y sont plus gros, souvent concentrés en paquets de petits grains, quelquefois réunis à axes parallèles, pour former le squelette d'un cristal plus grand; mais l'intérêt principal se

concentre sur les relations mutuelles du quartz et du feldspath. Tantôt le feldspath se présente en sphérolites très réguliers, à allongement négatif, dont le centre est riche en aiguilles d'ægyrine à disposition radicale et dont la périphérie est moulée par le quartz; dans d'autres cas, il existe des éponges de quartz globulaire et des plages arrondies de micropegmatites dans lesquelles les rapports habituels des éléments constitutants sont renversés : l'orthose y forme en effet des cristaux cristallitiques que moule le quartz. Ces diverses structures s'associent entre elles ».

Telles sont les particularités présentées par les rhyolites rubanées, que la nature de leur élément coloré permet de nommer *rhyolites à ægyrine et riébeckite*. Cependant, ces métasilicates n'y sont pas toujours déterminables; tel est le cas, en effet, de certaines parties des falaises rhyolitiques de Hélabala, où ces roches se présentent sous une apparence très compacte, et dans lesquelles les bandes les plus vitreuses, qui sont en même temps les plus colorées, sont presque les seules à renfermer ces minéraux. Dans ces bandes, on voit d'innombrables microlites filiformes, alignés dans le sens de la fluidalité de la roche; mais les minéraux auxquels correspondent ces microlites sont indéterminables en raison de leur excessive ténuité, telle qu'aucune appréciation d'extinction, de biréfringence et de pléochroïsme ne leur est applicable. Seule, l'analyse globale de ces roches m'a permis de les assimiler étroitement aux roches rubanées dont il vient d'être question un peu plus haut.

Parmi nos rhyolites, les types rubanés sont ceux qui offrent le plus d'intérêt, non seulement à cause de la nature particulière de leurs éléments ferrifères, mais aussi, et surtout, à cause des caractères holocristallins que l'on observe dans certaines zones se présentant à l'état d'accidents dans leur pâte et n'étant pas sans offrir une certaine analogie avec les enclaves homœogènes des pantellérites et avec les microgranites qu'il me reste à étudier.

b. *Microgranites*. — Les roches que je réunis ici sont en effet comparables aux rhyolites, en ce qui concerne leurs éléments de pre-

mière consolidation ; quant à la masse holocristalline de second temps, indépendamment des microlites qui sont les mêmes que ceux observés au sein de la matière vitreuse des rhyolites, elle est constituée par ces associations de sphérolites feldspathiques, de micropegmatites, de quartz globulaires et de groupements microgrenus d'individus isométriques, quartzeux et feldspathiques, qui, *pro parte* (1), tendent de plus en plus à être considérées actuellement comme des formes de dévitrification contemporaines de la solidification de la pâte vitreuse des roches acides.

Ces roches que j'ai vues à Obock (Morne Rouge) et au Ras Korati près de Djibouti constituer des masses importantes, ne m'ont pas paru se distinguer des rhyolites de notre région par la nature de leur gisement. D'ailleurs, en étudiant les nombreux types de roches à quartz essentiel que j'ai recueillis, j'ai pu me rendre compte que les rhyolites rubanées passaient aux microgranites, par une série de termes dans lesquels la partie dévitrifiée de la pâte prenait une importance de plus en plus grande relativement à la matière isotrope au sein de laquelle elle se développe ; au terme ultime holocristallin de cette série, on se trouve en présence de roches que leur composition minéralogique et leur structure permettent de considérer comme les représentants géologiques des zones holocristallines qui, dans les rhyolites à *ægryne* et *riébeckite*, n'offrent qu'un caractère local et accidentel.

Ce passage des rhyolites rubanées aux microgranites se manifeste extérieurement par l'atténuation du caractère des premières de ces roches, soit par un espacement croissant des zones de colorations diverses qui les caractérisent, ou par l'atténuation des différences de coloration que présentent entre elles ces mêmes zones.

Au microscope, on constate que ces changements extérieurs sont en corrélation non seulement avec l'état de dévitrification progressif de la roche, mais aussi avec le développement de la quantité de métasilicates

(1) Certaines formes analogues de dévitrification sont, en effet, postérieures à la solidification de semblables roches et résultent indiscutablement de l'action des agents atmosphériques.

à caractéristique sodique ; ceux-ci se montrent de plus en plus à l'état de grands cristaux à structure pœcilitique, au milieu desquels se remarquent accidentellement, parmi ceux qui sont acgyriniques, des noyaux de même nature minéralogique, mais constituant déjà des cristaux quelque peu développés et ne se présentant pas avec la forme allongée propre aux microlites.

Les types holocristallins eux-mêmes ne se présentent pas avec des caractères invariables ; ils semblent tendre vers des types offrant la structure microgranulitique telle que l'a définie M. MICHEL LÉVY, ainsi que vers des types grenus ; ces tendances se manifestent par une modification de la nature de leur masse de second temps de cristallisation, ainsi que par les variations qui se produisent entre les proportions respectives de cette masse de second temps et des phénocristaux.

En effet, dans ces roches, les éléments du second temps de cristallisation sont constitués essentiellement, soit de masses de quartz en association pœcilitique avec des cristallites feldspathiques ou avec du verre résiduel, et de groupements pœcilitiques d'éléments métasilicatés et de feldspaths, — soit de sphérolites feldspathiques dont le centre se montre plus ou moins riche en aiguilles d'ægryrine à disposition radiale, et dont la périphérie est moulée par du quartz ; accessoirement interviennent des feldspaths et des métasilicates à l'état microlitique, ainsi que des micropegmatites et des groupements microgrenus d'éléments isométriques quartzeux et feldspathiques. C'est par suite de variations qui s'observent dans l'importance relative de ces derniers groupements, que se manifeste la tendance de nos roches vers une structure microgranulitique proprement dite. D'autre part, et à peu près parallèlement à cette dernière variation, on observe que le nombre des phénocristaux quartzeux et feldspathiques tend à s'accroître en même temps que l'ægryrine, puis la riébeckite et la cossyrite apparaissent successivement en cristaux automorphes et bien développés. Tous ces divers éléments de premier temps se présentent à l'état de petits groupes de trois ou quatre individus dans la

roche qui se montre la plus riche en phénocristaux, parmi les microgranites que j'ai étudiés (1).

De même que le passage des rhyolites à ægyrine et riébeckite à leurs termes de totale dévitrification est accompagné de variations du facies extérieur, la tendance de nos roches holocristallines vers des types microgrenus et des types grenus a sa répercussion sur leurs caractères macroscopiques, et se manifeste d'abord par l'atténuation presque complète du caractère rubané propre aux rhyolites à ægyrine et riébeckite; puis, par la disparition de ce caractère, les roches devenant compactes, leur pâte d'aspect porphyrique étant uniformément grisâtre ou verdâtre; enfin, par l'apparition d'un facies écailleux rappelant celui de certaines microsyénites alcalines. Ce dernier cas est celui de la roche de Ouardji, dont la pâte blanche, légèrement rosée, se montre finement mouchetée par les métasilicates sodiques existant dans cette roche sous forme de phénocristaux largement développés, ou sous forme de grands cristaux à structure pœcilitique.

En résumé, nos roches à quartz essentiel constituent une famille pétrographique caractérisée, au point de vue minéralogique, par la constance de la nature des éléments blancs, dont les feldspaths sont exclusivement alcalins, — par la nature sodique de leurs éléments métasilicatés — et par l'absence complète de magnétite et d'ilménite. Ces roches présentent des variations structurelles en relation avec l'importance du rôle joué dans leur pâte par les minéraux métasilicatés, et aussi avec le développement que présentent individuellement les cristaux de ces minéraux.

Enfin, par l'accroissement des groupements quartzeux et feldspathiques de leur pâte, ainsi que par celui de la masse de leurs phénocristaux, elles tendent vers des roches à structure microgranulitique, qui elles-mêmes évoluent vers des formes pétrographiques grenues, sans

(1) Cette roche a été recueillie près des sources chaudes de Ouardji (bassin supérieur de l'Aouache), au cours du voyage de M. M. DE ROTHSCHILD.

que les termes respectifs de cette double variation se montrent, à proprement parler, inséparables les uns des autres.

Au point de vue de la classification adoptée par le professeur Rosenbusch, les roches semi-cristallines qui ont fait l'objet de ces deux premiers paragraphes constituent des liparites vitreuses (1) (natron liparit); quant aux microgranites alcalins, qui, d'après la terminologie de notre classification, sont des microgranites à ægyrine, ou à ægyrine et riébeckite, ou encore à ægyrine, riébeckite et cossyrite, en raison de ce qu'elles ne m'ont pas paru être de nature filonienne, le professeur Rosenbusch en ferait encore des liparites (liparites holocristallines); et cependant, ces roches se présentent avec des caractères micrographiques comparables à ceux qui sont propres aux *roches filoniennes* qu'OSANN a désignées du nom de *paisanites* (2).

C. Roches dépourvues de quartz primaire. — Les roches de ce dernier groupe sont caractérisées par l'absence absolue du quartz au premier temps de consolidation, ce minéral pouvant cependant se présenter au second temps dans des proportions variées, ainsi que dans le groupe qui vient d'être étudié.

L'élément feldspathique y est exclusivement alcalin, représenté surtout par de l'anorthose, auquel vient s'adjoindre souvent de l'orthose sodique en proportions variables. Les minéraux métasilicatés y figurent toujours, au moins *pro parte*, sous forme de pyroxènes et d'amphiboles sodiques.

Les feldspaths ne manquent jamais dans leur composition miné-

(1) De celles dans lesquelles le quartz primaire n'est pas essentiel, j'ai fait des *pantellérites*, en justifiant l'emploi de cette dénomination déjà adoptée par l'école allemande pour des roches similaires; parmi les autres dont le quartz primaire est essentiel, les types rubanés des rhyolites alcalines dans lesquels se manifeste un relâchement de la texture se traduisant extérieurement par un facies trachytique, présentent la plupart des caractères qui sont propres aux roches que Bertolio a désignées sous le nom de *comendites* (S. Bertolio, *Rendiconti d. R. Accad. dei Lincei*, V, 1896, p. 151; voir à ce sujet la note de la page 44).

(2) *Tchermak's Min. u. Petr. Mitt.*, XV, 1895, p. 439.

ralogique ; la magnétite et l'ilménite ne figurent pas parmi les éléments colorés de ces roches.

Ainsi que dans la famille des roches à quartz primaire essentiel, les variétés structurelles des roches qui composent ce troisième groupe permettent de distinguer :

a) Des roches semi-cristallines, des trachytes ; b) des roches holocristallines, des microsyénites.

a. *Trachytes*. — Ces trachytes constituent des masses puissantes qui, à Baldji, servent de soubassement aux nappes de pantellérites, et à Ardaga, symétriquement à Baldji par rapport au cours de l'Aouache, se montrent dénudées dans la partie inférieure de la falaise des Aroussis-Gallas.

Ce sont des roches le plus généralement très vitreuses, que l'on voit à Baldji passer à des formes purement obsidienniques présentant des cassures perlitiques et renfermant souvent, dans ce cas, des sphérolites détachables atteignant la grosseur d'un pois.

Dans leurs formes cristallines, ces roches présentent une fluidalité accentuée, et cette fluidalité se manifeste, ou bien ainsi que dans les pantellérites, ou bien ainsi que dans les rhyolites rubanées.

Dans le premier cas, on voit à l'œil nu des sections rectangulaires de feldspaths allongées dans des directions parallèles ; et en lame mince, indépendamment de l'orientation des phénocristaux et des microlites feldspathiques, on remarque l'allure fluidale d'étroites traînées brunâtres d'une matière isotrope, qui serpentent au sein de la matière de couleur claire, vitreuse et cristallitique, constituant la majeure partie de la pâte de ces roches.

Dans le second cas, la roche se présente extérieurement avec un facies rubané accentué, constituée par une alternance de bandes rosées et brunes, plissées et contournées de la façon la plus capricieuse.

Le verre des bandes claires présente un état de dévitrification plus ou moins avancé ; celui des bandes foncées est presque exclusivement cristallitique. L'exagération de l'importance des bandes de couleur

claire, quand elle s'accompagne d'un relâchement de la texture, conduit à des roches à facies trachytique que leur examen en lame mince montre formées de véritables roches microsyénitiques (1), tandis que l'exagération de l'importance des bandes de couleur foncée conduit aux types purement obsidienniques, dont il a été question plus haut.

Malgré les analogies structurelles et minéralogiques qui relient ces trachytes aux pantellérites et aux types semi-cristallins des roches à quartz primaire essentiel, je les distingue minéralogiquement de ces dernières en raison de ce que le quartz primaire ne s'y observe jamais ; je les distingue également des pantellérites pour cette même raison (qui cependant dans ce dernier cas a moins de valeur), et encore parce que les lithophyses ne s'y observent pas et que les enclaves homœogènes ne s'y présentent qu'exceptionnellement.

Dans ces trachytes, les éléments métasilicatés font à peu près totalement défaut ; on y observe bien à un fort grossissement quelques microlites faiblement colorés, pyroxéniques ou amphiboliques, mais leurs dimensions trop restreintes n'en permettent pas la détermination ; ce n'est que dans certaines des roches d'Ardaga que l'on voit ces éléments figurer en très petite quantité, au premier et au second temps, représentés par un seul minéral, l'amphibole spéciale que j'ai décrite à propos des pantellérites.

Les types purement obsidienniques de ces roches sont constitués par un verre de couleur brunâtre, non bulleux, chargé d'une multitude confuse de cristallites et de trichites ; leur cassure est conchoïdale, et ainsi que je l'ai dit plus haut, ils fournissent souvent des sphérolites détachables atteignant la grosseur d'un pois. En lame mince, ces sphérolites se montrent constitués de fibres radiées d'une grande finesse, offrant une faible biréfringence et un allongement positif ; la détermination de la nature de ces fibres ne m'a pas été possible, l'abondance des cristallites rendant toute image confuse en lumière convergente ;

(1) Dans celles-ci la pâte est essentiellement constituée de microlites et de lamelles aplaties de feldspaths associés à quelques sphérolites également feldspathiques, dont les fibres sont à allongement négatif.

cependant on ne peut les rapporter qu'à des feldspaths alcalins allongés suivant $p h^1$ ou à de l'orthose déformée allongée suivant $h^1 g^1$.

b. *Microsyénites*. — Je n'ai recueilli qu'un trop faible nombre d'échantillons de ces roches pour pouvoir en présenter l'étude sous une forme complète; aussi, à l'étude des microsyénites d'Arto et de Karsa qui font partie de mes documents personnels, ai-je cru devoir joindre celle d'un certain nombre d'échantillons de roches microsyénitiques que j'ai trouvées dans les collections géologiques du Muséum d'histoire naturelle et sur lesquelles je ne possède aucun renseignement géologique: je les réunis aux miennes à cause de leur nature pétrographique.

Ces échantillons, sauf un recueilli par Lefèvre aux environs de Kosséir et un autre recueilli par M. Neuville dans le bassin supérieur de l'Aouache, proviennent du nord du Tigre et figurent dans la collection Ferret et Galinier dont les roches furent déterminées en 1843 par H. Rivière, mais d'une façon seulement approchée, et en rapport avec l'état d'avancement des connaissances pétrographiques à cette époque.

Toutes ces microsyénites présentent la composition minéralogique que j'ai décrite au début de ce paragraphe; on peut les classer suivant l'importance du rôle que joue le quartz dans leur masse de second temps de cristallisation.

Dans les types les plus quartzifères, le quartz est associé aux feldspaths pour former des groupements qui sont essentiellement microgranulitiques ou micropegmatiques. Dans le premier cas (*a*), le quartz et le feldspath du second temps se montrent associés à des microlites allongés ou lamelleux de feldspaths et à des microlites d'ægryrine et d'ægryrine-augite; dans le second (*b*), ils sont associés d'une part à des lamelles aplaties et allongées de feldspaths (présentant parfois des groupements polygonaux) et d'autre part, à des microlites et à des cristaux pœcilitiques d'ægryrine ou d'ægryrine et de riébeckite. Quant aux cristaux de première consolidation, ils sont constitués exclusive-

ment par des feldspaths alcalins, dont les sections rectangulaires présentent un développement variable et semblent quelquefois offrir une certaine tendance à l'orientation. Ces roches ne sont pas sans présenter une certaine analogie avec les *grörudites* que Brögger a décrites dans le bassin de Christiania ; celles en particulier qui offrent des groupements micropegmatiques de quartz et de feldspath sont tout à fait comparables aux grörudites que Prior a signalées dans la région d'Adoua-Axoum (1), qui est celle d'ailleurs d'où proviennent les types dont il vient d'être question. Abstraction faite du quartz primaire, toutes ces roches ont de grandes analogies avec quelques-uns des microgranites que j'ai décrits plus haut, ainsi qu'avec les enclaves homœogènes acides de nos pantellérites ; ce sont, au sens de notre classification, des *microsyénites quartzifères* (2).

Parmi ces premiers types microsyénitiques, je décrirai plus particulièrement la roche de Karsa que je ne puis considérer comme étant de nature filonienne, mais qui, peut-être, forme une masse intrusive (?). Cette roche est de couleur claire et présente un facies écaillé ; elle est constituée par des feldspaths alcalins enchevêtrés, entourant des cristaux d'orthose plus ou moins orientés et pénétrés d'albite secondaire. Les microlites sont associés pœcilitiquement avec de l'ægryrine et de la riebeckite distribuées irrégulièrement dans la roche, et donnant à celle-ci un aspect moucheté que l'on distingue à l'œil nu (Pl. IX, fig. 7 et Pl. X, fig. 5). Les intervalles intersertaux des feldspaths sont remplis de quartz.

A côté de ces types microsyénitiques quartzifères, viennent s'en placer d'autres qui diffèrent des précédents par le caractère de rareté

(1) G. T. Prior, *Min. Mag.*, XII, n° 57, p. 260-263.

(2) Parmi les roches microsyénitiques que j'ai étudiées, voici celles qui font partie de ce premier groupe très quartzifère :

a. 1, Mont Sébahat, entre Adoua et Goundet (39) ; 2, Karsa, environs de Harar ; 3, bords du Taccazé (49) ; 4, entre Derella et Gotha (Afar).

b. 1, Province du Chiré (42) ; 2, ravin du Maitenkat (136) ; 3, Guendepa (133). (Les numéros entre parenthèses correspondent aux numéros du catalogue de la collection Ferret et Galinier.)

que présente le quartz et aussi par la structure de leur masse de second temps, qui est nettement intersertale.

Dans ces dernières roches les phénocristaux, exclusivement feldspathiques, ne sont pas d'un ordre de grandeur très différent de celui qui est propre aux microlites de même nature minéralogique ; les intervalles intersertaux de ces derniers se présentent généralement remplis par des microlites de feldspath et d'ægryne, auxquels viennent parfois s'adjoindre des micropegmatites. En outre, de grands cristaux à structure pœcilitique, et des microlites d'ægryne et de riébeckite sont distribués irrégulièrement dans la pâte de la roche.

Toutes ces roches, que je désignerai sous le nom de *microsyénites à structure intersertale* (1), présentent de grandes analogies avec les *sölvbergites* de Brögger ; une partie d'entre elles proviennent de la région dans laquelle M. Prior a signalé déjà un certain nombre de roches de même nature en les désignant sous ce nom (2).

Enfin, un certain nombre de microsyénites que j'ai étudiées ne présentent nulle trace de quartz ; elles se distinguent essentiellement des précédentes par leur caractère fluidal nettement accentué ; leurs phénocristaux sont peu abondants et leurs microlites feldspathiques aplatis et allongés à la façon des microlites feldspathiques des phonolites. Leurs éléments colorés sont constitués essentiellement par de l'augite qui, à l'état de grains, quelquefois aussi de microlites, se trouve disséminé dans la pâte de la roche ; accessoirement l'ægryne ou l'ægryne-augite s'adjoit à l'augite. Ces roches sont des *trachytes phonolitiques* (3).

Je dois ajouter, pour terminer cet examen de mes roches microsyénitiques, que les trois variétés entre lesquelles je les ai réparties ne

(1) 1, Env. Kosseïr, n° 20, Coll. Lefèvre ; 2, Environs d'Axoum (41) ; 3, Guendepa (132) ; 4, Mégarea, près Adoua (40) ; 5, Mont Aradeb (130).

(2) *Min. Mag.*, XII, n° 57, p. 265-267.

(3) 1, Entre Egala et Guendepa (59) ; 2, Belessa, près Antalo (56) ; 3, bassin supérieur de l'Aouache.

présentent pas respectivement des caractères absolument constants. Ainsi, dans les types que je compare aux grörudites, la diminution de l'importance des micropegmatites s'accompagne d'une accentuation du caractère intersertal de la structure, établissant un lien avec la variété voisine ; de même, dans les types que je rapproche des sölvbergites, le développement dans la pâte de bandes fluidales, dans lesquelles s'alignent les microlites feldspathiques, s'accompagne d'une atténuation du caractère pœcilitique propre aux métasilicates sodiques, et établit le passage de ces roches aux trachytes phonolitiques.

Toutes ces microsyénites sont de couleur claire ; les unes sont porphyroïdes, les autres sont écailleuses, quelques-unes enfin sont fissiles. Les éléments colorés y forment généralement des groupements qui apparaissent sous la forme de mouchetures à la surface de la roche. Dans un des types que j'ai étudiés (environs de Kosséir), les métasilicates sont répartis dans des plans parallèles, dont la direction est cependant normale à celle des plans de fissilité de cette roche, ces derniers plans étant déterminés par l'aplatissement, suivant une orientation à peu près commune, des lamelles feldspathiques qui constituent essentiellement cette microsyénite.

Ces roches dépourvues de quartz primaire qui, dans notre classification, sont, selon la nature de leur structure et de leur composition minéralogique, des trachytes alcalins ou des microsyénites quartzifères, ou encore des microsyénites à structure intersertale ou à structure phonolitique, constituent respectivement, au sens de la classification adoptée par le professeur Rosenbusch, des trachytes à sanidine et anorthose, des tinguaïtes quartzifères (grörudites), des sölvbergites (1) et des phonolites trachytoïdes.

En résumant l'étude micrographique qui fait l'objet de ce chapitre, on voit d'abord que les trois familles pétrographiques auxquelles appar-

(1) Toutefois, à la condition que ces deux derniers types pétrographiques correspondent à des roches filoniennes.

tiennent essentiellement (1) les roches alcalines de la région que j'ai parcourue présentent, au point de vue minéralogique, les caractères communs suivants :

1° Les feldspaths y sont exclusivement alcalins, constitués par de l'orthose sodique et par de l'anorthose.

2° Les métasilicates y sont toujours, au moins *pro parte*, représentés par des pyroxènes et des amphiboles à caractéristique sodique.

3° La magnétite et l'ilménite ne figurent jamais dans leurs associations minéralogiques.

En outre, le quartz primaire joue un rôle des plus importants dans ces trois groupes pétrographiques ; dans l'un d'eux, c'est un élément essentiel constant ; dans un autre, il ne figure pas ; dans le troisième enfin, celui des pantellérites, sa présence se manifeste avec la plus grande irrégularité, et le caractère d'instabilité de composition minéralogique qui en résulte pour ces roches, se retrouve dans leurs enclaves homœogènes, qui sont tantôt microgranitiques et tantôt microsyénitiques.

L'étude qui a fait l'objet des deux paragraphes précédents établit

(1) D'autres roches alcalines se montrent en effet associées géologiquement à celles-ci, mais elles offrent un caractère néphélinique qui ne me permet pas de les faire rentrer directement dans cette étude, où les roches envisagées ne présentent jamais d'autres minéraux blancs que le quartz et les feldspaths alcalins.

Telles sont les phonolites de Kosseïr (Coll. Lefèvre, n° 607) et de Bourka (plateau somali) ; dans ces deux roches les phénocristaux ont une importance très secondaire, et la masse de second temps de consolidation présente la structure intersertale. La première de ces roches est caractérisée par l'abondance de l'ægryrine et de la riébeckite, qui, sous forme de grands cristaux à structure pœcilitique, sont disséminées dans la pâte, ainsi que de volumineux cristaux prismatiques de néphéline. Dans la seconde, l'élément coloré est constitué par de l'augite verte en grains et en microlites ; les espaces intersertaux des microlites feldspathiques se montrent souvent remplis par une matière isotrope ou très faiblement biréfringente, facilement attaquable par les acides. Cette matière, qui pourrait être de l'analcime, n'est cependant pas modifiée optiquement par la calcination ; comme son produit d'attaque par l'acide azotique fournit la réaction du chlore, je la considère comme formée par de la sodalite. Je crois pouvoir rattacher cette dernière roche à la catégorie des phonolites néphéliniques, en raison de l'importance du rôle joué dans sa constitution, par le verre attaquable dont il vient d'être question.

suffisamment, d'une part, que les rhyolites et les trachytes alcalins sont reliés étroitement aux pantellérites, et que, d'autre part, les microgranites et les microsyénites alcalins se présentent avec des compositions minéralogiques et structurelles tout à fait comparables respectivement à celles qui sont propres aux diverses sortes d'enclaves homœogènes de ces mêmes pantellérites.

Aussi l'ensemble de ces observations me porte-t-il à considérer ces microgranites et ces microsyénites comme des équivalents géologiques des enclaves homœogènes des pantellérites.

Je ferai remarquer, en outre, que les pantellérites passent localement à des formes holocristallines diverses par des variations d'ordre essentiellement minéralogique, tandis que nos rhyolites et nos trachytes alcalins ne semblent passer à des formes holocristallines respectivement microgranitiques et microsyénitiques, que par suite d'une variation d'ordre exclusivement structurel.

La discussion des résultats analytiques qui fait l'objet de la seconde partie du chapitre suivant, complétera les données qui viennent d'être établies.

II. — EXAMEN CHIMIQUE

I. — EXPOSÉ DES MÉTHODES ANALYTIQUES.

Dans l'étude pétrographique d'une série telle que la nôtre, un examen chimique doit toujours compléter l'examen micrographique des roches.

Il est en effet nécessaire de voir si les différences minéralogiques et structurales en vertu desquelles les roches qui composent cette série ont été réparties dans des groupes divers d'une classification minéralogique et structurale, sont en corrélation avec les variations existant entre les compositions chimiques de leurs magmas respectifs. Il faut d'autre part, résoudre la question de savoir si les caractères minéralogiques communs à ces mêmes roches sont la conséquence de l'existence d'un certain nombre de facteurs communs affectant leurs compositions chimiques respectives.

Cet examen chimique nécessite un nombre assez considérable d'analyses en bloc ; par suite, il convient de faire choix d'une méthode de travail qui, tout en permettant de les effectuer rapidement, conduise cependant à des résultats dont le degré d'exactitude soit en rapport avec celui que nécessite une application correcte des méthodes de calcul des paramètres magmatiques actuellement préconisées dans le but d'établir une classification chimique des roches.

Bien que la méthode analytique de DEVILLE semble être tombée actuellement chez nous quelque peu en désuétude, et qu'elle ne soit généralement pas employée à l'étranger, j'ai cependant cru devoir l'appliquer à l'examen chimique de mes roches. C'est en effet le seul procédé d'analyse des silicates qui paraisse être susceptible d'être en quelque sorte industrialisé, étant donné qu'il permet, avec un matériel peu compliqué et relativement peu coûteux, d'effectuer simultanément plusieurs analyses de roches ; quant aux résultats, ils sont exacts à une unité près de la première décimale, et ne sont pas susceptibles, par

suite, de conduire à des erreurs capables d'influencer les résultats des calculs paramétriques.

Il n'est peut-être pas inutile, à cet égard, de rappeler les principes de cette méthode, en insistant ensuite sur quelques-uns des détails opératoires, de la stricte observation desquels dépend la réussite des analyses.

Dans son esprit, la méthode de DEVILLE a pour but : 1° de transformer les silicates acides inattaquables en silicates basiques aisément décomposables par les acides ; 2° de séparer et de doser à l'état d'oxydes (sauf les oxydes alcalins) la silice et les métaux auxquels ce corps est combiné.

Dans ce but, la matière silicatée (ici la roche), réduite à l'état de poudre extrêmement fine, est mélangée avec une certaine quantité de carbonate de chaux et fondue à haute température, après avoir décomposé au préalable le carbonate par une calcination convenable.

Sur le verre attaquant qui résulte de cette fusion, on prélève une certaine quantité que l'on attaque par l'acide nitrique jusqu'à complète dissolution des oxydes métalliques. Les produits résultant de cette dernière opération sont d'abord amenés à siccité, puis chauffés à 180° jusqu'à complète décomposition des nitrates de fer et d'alumine.

La masse desséchée est alors reprise par de l'eau bouillie ; la partie insoluble renferme la silice et les oxydes de fer et d'alumine ; la partie soluble, qui est séparée par filtration de la précédente, renferme les nitrates des métaux alcalino-terreux et alcalins.

L'analyse est alors séparée en deux parties sur lesquelles on peut opérer en même temps. Les nitrates sont additionnés d'oxalate d'ammoniaque en excès, la chaux précipitée est séparée par filtration sous forme d'oxalate insoluble, lequel est calciné, puis pesé à l'état de chaux.

Pendant que le précipité d'oxalate de chaux se rassemble, on met à digérer les oxydes insolubles, ainsi que le filtre qui les contient, dans de l'acide nitrique pur, jusqu'à complète dissolution des oxydes de fer

et d'aluminium ; ce résultat obtenu, on sépare par filtration (après addition préalable d'eau distillée) la silice restée insoluble, des nitrates de fer et d'aluminium qui se sont formés.

La silice est calcinée et pesée en observant les précautions d'usage ; quant au fer et à l'aluminium, après avoir amené leurs nitrates d'abord à un état très pâteux, et les avoir décomposés ensuite par la chaleur, on les pèse à l'état de mélange d'oxydes : $\text{Fe}^2\text{O}^3 + \text{Al}^2\text{O}^3$.

Pour séparer ces oxydes, on les place dans une nacelle de platine que l'on introduit dans un tube de même métal, et l'on fait passer sur eux alternativement des courants desséchés d'hydrogène et d'acide chlorhydrique. L'alumine qui reste fixe est calcinée, puis pesée ; quant au fer, il passe à l'état de chlorure que l'on retient au moyen de tubes absorbants appropriés à cet usage, on le précipite, puis on le dose, à l'état de sesquioxyde, après peroxydation préalable de la solution ferreuse.

Pendant que s'effectuent ces dernières opérations, on évapore la liqueur de laquelle on a séparé précédemment l'oxalate de chaux. Cette liqueur renferme : des nitrates de magnésie, de potasse et de soude, avec des sels ammoniacaux, nitrate et oxalate ; le filtrat est évaporé et amené à siccité ; puis on chasse les sels ammoniacaux de la masse anhydre ainsi obtenue par un chauffage prolongé dans une étuve réglée à 135-140°. Les nitrates fixes que l'on obtient ainsi sont transformés en oxalates, au moyen d'une légère calcination effectuée en présence d'un excès d'acide oxalique, jusqu'à cessation complète : 1° de dégagement de vapeurs nitreuses, 2° de dégagement des produits de sublimation de l'acide oxalique en excès. Ce dernier résultat atteint, on porte pendant quelques instants les oxalates à la température du rouge naissant, ce qui amène le magnésium à l'état d'oxyde et les métaux alcalins à l'état de carbonates ; le mélange de ces corps est alors traité par l'eau bouillante, puis, par filtration, on sépare la magnésie insoluble des carbonates alcalins passés à l'état de dissolution.

La liqueur qui renferme ces carbonates est additionnée d'acide chlorhydrique, et l'on y effectue la séparation de la potasse et de la soude d'après les méthodes classiques.

Les erreurs principales qui peuvent provenir de l'application de cette méthode résultent toutes des impuretés que sont susceptibles de renfermer les divers réactifs utilisés au cours des diverses opérations qu'elle comporte.

D'une part la teneur en chaux de la roche est obtenue par la différence des chiffres fournis par le dosage de la chaux effectué en cours d'analyse et la quantité calculée de cet oxyde, qui a été ajouté à la roche sous forme de carbonate, en vue de sa fusion. D'autre part, les impuretés de l'eau distillée, de l'acide nitrique, des sels ammoniacaux et de l'acide oxalique ne s'éliminent pas dans la suite des opérations analytiques, et causent des erreurs qui viennent pour la plupart s'accumuler en queue de l'analyse et faussent principalement le dosage de la soude.

Pour obvier à ces inconvénients, les réactifs doivent être soigneusement purifiés, en raffinant au laboratoire les produits « dits purs » du commerce.

Le carbonate de chaux précipité sera lavé à plusieurs reprises, à froid, avec de l'eau distillée chargée d'acide carbonique, jusqu'à ce que son résidu fixe à la calcination représente 56 p. 100 de son poids.

L'eau distillée sera soigneusement vérifiée (elle ne devra renfermer aucune trace de chlore, d'acide sulfurique ou de chaux) : son extrait sec effectué sur un litre devra être négligeable.

L'acide nitrique devra être distillé, et, si l'on recueille le produit ainsi raffiné dans un récipient en verre, il devra en être fait usage très peu de temps après l'avoir obtenu.

L'acide oxalique sera préparé par sublimation ; une partie du produit pur ainsi obtenu sera dissoute dans une solution d'ammoniaque fraîchement préparée par distillation de la solution d'ammoniaque pure du commerce, et servira à préparer de l'oxalate d'ammoniaque cristallisé. Tous ces derniers produits ne doivent laisser aucun résidu appréciable à la sublimation.

Voici maintenant les précautions qu'il convient de prendre au cours des diverses manipulations de la méthode de DEVILLE :

Proportion de carbonate de chaux à ajouter au silicate en vue de la fusion. — Toute la réussite de la fusion à la chaux dépend de deux conditions qui se trouvent être contradictoires : en effet, il faut, d'une part, additionner la roche d'une quantité de chaux suffisante pour former un silicate facilement attaquable par les acides, et d'autre part, il faut se garder d'en ajouter un excès qui favoriserait le départ des alcalis à haute température, en vertu d'un loi de déplacement bien connue ; de plus, par l'addition d'une quantité trop justement mesurée de cette base, on est conduit à opérer la fusion à très haute température et à en prolonger la durée, ce qui a pour conséquence de favoriser encore et d'accélérer le départ des alcalis.

Il importe donc de prendre un moyen terme. Ce qui paraît être le meilleur en ce cas, c'est d'ajouter une quantité de chaux limitée, mais cependant suffisante pour que la fusion se fasse à une température peu élevée en un temps très court.

Cette proportion de chaux à faire entrer en jeu sera indiquée par l'examen de la lame mince de la roche à analyser ; les roches à quartz libre seront fondues avec leur poids de carbonate de chaux ; des roches telles que des syénites normales ou des roches basiques riches en périclase magnésien nécessiteront une addition de 75 p. 100 de leur poids de ce même produit ; enfin les roches basiques peu ou point chargées de périclase magnésien n'auront besoin d'être mélangées qu'avec 50 p. 100 de leur poids de carbonate de chaux pour fournir rapidement un verre facilement attaquable.

En opérant suivant ces principes sur les roches les plus diverses, j'ai pu réduire le temps de fusion à deux ou trois minutes au plus, en ayant soin de porter directement le creuset de fusion de la flamme d'un bec Bunsen où il était au rouge, dans un four Forquignon et Leclerc qu'un chauffage préalable avait amené au rouge vif ; dans ces conditions, je puis affirmer que la quantité d'alcalis volatilisée est absolument insignifiante (1).

(1) Il ne faut pas oublier qu'au moment où l'on porte le creuset dans le four, le carbonate de chaux a dû être *totale*ment décomposé par une calcination préalable ; s'il en

Quantité de verre qu'il convient de prélever pour l'attaque par l'acide nitrique. — Dans un four Forquignon et Leclerc de petite taille, on peut facilement effectuer dans le temps que j'ai indiqué plus haut la fusion à la chaux de 5 grammes de roche, ce qui permet d'obtenir suivant les cas de 6 à 8 grammes de verre.

Sur ce verre, finement pulvérisé au préalable, on prélève une quantité correspondant à 2 grammes de la roche à analyser, quantité suffisante pour obtenir des résultats exacts à une unité près de la première décimale, mais qu'il ne convient cependant pas de dépasser, en raison des difficultés que l'on rencontrerait ultérieurement dans le maniement et le lavage de précipités par trop volumineux.

Une simple règle de trois permet d'obtenir cette quantité; en opérant ainsi, on supprime toute réduction des résultats au moment du calcul de l'analyse, et l'on réalise une économie de temps appréciable; enfin, si l'on a eu soin de faire une fusion de 5 grammes de roche, on voit que l'on a à sa disposition suffisamment de verre pour effectuer, au cas échéant, soit une seconde analyse, soit quelques dosages spéciaux.

Insolubilisation de la silice et décomposition à 180° des nitrates de fer et d'alumine. — L'attaque à l'acide nitrique effectuée, on amène la silice à l'état insoluble et les nitrates à siccité par une évaporation prolongée au bain-marie. La masse desséchée ainsi obtenue est portée pendant trois heures environ dans une étuve réglée à 180-190°; au bout de ce laps de temps, le fer et l'alumine sont passés à l'état de composés insolubles dans l'eau, les nitrates des autres métaux restant indécomposés. Il faut avoir bien soin, au cours de cette opération, de ne pas laisser monter la température de l'étuve au delà des limites indiquées plus haut, car autrement, une faible quantité de bases alcalino-terreuses pourrait être mise en liberté et déplacerait des alcalis qui se recombineraient à la silice; dans le cas où la température de l'étuve

était autrement, le temps nécessité par la fusion s'en trouverait augmenté, et par suite, le départ des alcalis favorisé,

serait inférieure au contraire à 180°, le fer et l'alumine ne passeraient pas en totalité à l'état de composés insolubles.

Lavage des précipités. — En raison de la quantité importante de verre soumise à l'analyse, les précipités sont très volumineux; aussi, ne doivent-ils jamais être lavés sur filtre, mais uniquement par décantation, et toujours avec de l'eau aussi chaude que possible, sauf cependant le précipité d'oxalate de chaux qui doit être lavé à l'eau froide. Dans la pratique, cinq à six lavages successifs opérés chacun avec 40 centimètres cubes d'eau suffisent pour obtenir des précipités ne retenant que des traces d'impuretés.

Redissolution du fer et de l'alumine. — Lorsque le passage à l'étuve à 180° a été trop prolongé, le fer et l'alumine se redissolvent difficilement dans l'acide nitrique; cependant, cette redissolution s'effectue *toujours* rapidement en présence de papier à filtre, sans doute à cause de la production d'acide oxalique résultant de la réaction de l'acide nitrique sur la cellulose qui constitue ce papier (1).

Précipitation de l'oxalate de chaux. — Le volume de la liqueur renfermant les nitrates alcalino-terreux et alcalins sera de 250 centimètres cubes environ, si l'on a opéré le lavage du précipité renfermant la silice, le fer et l'alumine, ainsi que je viens de l'indiquer, et cette liqueur sera ainsi dans de bonnes conditions de dilution pour y effectuer la précipitation de la chaux; aussi, pour ne pas augmenter inutilement ce volume (en raison du temps nécessité par l'évaporation ultérieure de la solution renfermant la magnésie et les alcalis), convient-il d'ajouter l'oxalate d'ammoniaque sous forme de solution saturée à chaud. A cet effet, on dissoudra sur-le-champ, au moment de la préci-

(1) Il est aisé en effet de vérifier que, dans le cas où les nitrates de fer et d'alumine ont été trop longtemps chauffés, leur redissolution par l'acide nitrique est activée par l'addition à ce réactif d'une petite quantité d'acide oxalique.

pitation, 6 à 7 grammes d'oxalate d'ammoniaque cristallisé (1) dans 25 à 30 centimètres cubes d'eau bouillante et l'on versera en totalité et à chaud le réactif ainsi obtenu dans la liqueur à précipiter ; on laissera l'oxalate de chaux se déposer à froid pendant quinze à vingt heures avant d'en effectuer le lavage et la filtration.

Transformation des nitrates de magnésie et des nitrates alcalins en oxalates. — Avant d'ajouter d'acide oxalique les nitrates qui restent fixes après la sublimation des sels ammoniacaux, il convient de les rassembler au fond de la capsule dans laquelle on doit effectuer leur transformation en oxalates. A cet effet on dissout ces sels dans une faible quantité d'eau et on les ramène à siccité par un passage au bain-marie. Cela fait, on recouvre d'une couche de 1 à 2 millimètres d'épaisseur d'acide oxalique pulvérisé, la mince pellicule des nitrates qui adhère au fond de la capsule, et on porte le tout à l'étuve à 180°. En opérant dans ces conditions, on est certain que la réaction sera totale et qu'elle ne se produira pas d'une façon tumultueuse.

Séparation du fer et de l'alumine. — a. Le procédé de séparation du fer et de l'alumine par réduction et chloruration étant décrit avec tous ses détails dans les traités classiques d'analyse, je me bornerai ici à indiquer un moyen pratique de produire l'hydrogène sec et le mélange d'hydrogène sec et d'acide chlorhydrique anhydre qui, envoyés alternativement dans le tube de platine où l'on a placé la nacelle contenant le mélange des oxydes de fer et d'aluminium, permettent d'effectuer la réduction de l'oxyde de fer et l'entraînement du métal ainsi formé à l'état de chlorure ferreux.

Le schéma ci-joint représente un appareil générateur d'acide chlorhydrique anhydre dans lequel ce gaz est produit par la chute

(1) Cette quantité est le double environ de celle qui correspond exactement à la chaux que l'on veut séparer ; elle comprend un excès de réactif suffisant pour empêcher un entraînement de magnésie par l'oxalate de chaux, mais un excès qui n'est pas tel que le temps de l'élimination ultérieure des sels ammoniacaux en soit de beaucoup prolongé.

d'acide chlorhydrique concentré que l'on fait tomber goutte à goutte dans un grand excès d'acide sulfurique monohydraté au contact duquel il se gazéifie instantanément.

Par la tubulure H on peut amener un courant d'hydrogène dans le générateur ; ce gaz, en même temps qu'il se dessèche par barbotement dans l'acide sulfurique, produit l'agitation de ce liquide et contribue ainsi au mélange des couches de cet acide, qui ont été en contact avec l'acide chlorhydrique, avec les autres couches, moins hydratées, de sa masse.

En faisant passer dès le début de l'opération analytique le courant d'hydrogène dans cet appareil, il suffira de procéder par intermittence à des introductions d'acide chlorhydrique pour obtenir alternativement des courants d'hydrogène sec et de mélange de ce gaz avec l'acide chlorhydrique anhydre (1).

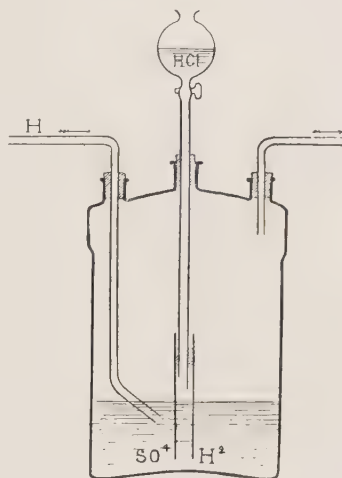


Fig. 18.

b. Ce procédé de séparation du fer et de l'alumine par réduction et chloruration, bien qu'il offre l'avantage de peser séparément à l'état d'oxydes le fer et l'alumine et de permettre par conséquent de vérifier la pureté de ces corps, est cependant long et difficile dans son application ; en outre il nécessite l'emploi d'un tube de platine dont la valeur est assez considérable ; aussi, dans la généralité des cas, si l'on est certain d'avoir opéré correctement la séparation des oxydes mélangés de fer et d'alumine, il suffira de peser ces oxydes en bloc, puis de les amener à l'état de sels solubles par une fusion au bisulfate de potasse ; il sera possible ainsi de titrer le fer au permanganate de potasse

(1) Le flacon générateur doit avoir une grande capacité, 6 à 8 litres environ, afin d'atténuer les effets dus à l'expansion violente qui se produit dans le mélange gazeux chaque fois qu'une goutte d'acide chlorhydrique arrive au contact de l'acide sulfurique.

et de faire le calcul, par différence, de la teneur du mélange en alumine.

Chacun de ces deux procédés de séparation exposés ci-dessus permet d'obtenir seulement la teneur en fer total de la roche, exprimée en pour cent de sesquioxyde de fer ; on sait que cela ne suffit pas en général pour déterminer les caractéristiques chimiques des roches. Tel est d'ailleurs le cas des roches de la série que j'étudie ; en effet, la valeur du rapport (toujours supérieur à l'unité) entre le fer au maximum et le fer au minimum, d'un certain nombre des éléments métasilicatés entrant dans leur composition minéralogique, est une des caractéristiques chimiques de ces minéraux. Il est nécessaire d'ajouter que cette caractéristique imprime (ainsi qu'on le verra plus loin) son cachet sur la composition chimique des magmas au sein desquels ces minéraux ont pris naissance.

Tous les dosages de fer ferreux et de fer ferrique ont été effectués par la méthode d'attaque directe à l'acide fluorhydrique. Il est d'ailleurs inutile d'entrer dans les détails opératoires de cette méthode, étant donné qu'ils ont été exposés et discutés d'une façon complète dans un certain nombre de mémoires (1) ; je me bornerai à conseiller de faire l'attaque au moyen d'acide fluorhydrique additionné d'une petite quantité d'acide chlorhydrique, dans les cas où les roches à analyser renfermeraient de la magnétite et des composés ferrotitanés, car ces minéraux sont à peu près inattaquables par l'acide fluorhydrique seul.

Sans entrer dans des détails moins essentiels concernant l'examen chimique des roches qui font l'objet de ce mémoire, je me bornerai à insister sur ce fait que j'ai tenu à rappeler un mode de procéder, qui, sans présenter peut-être, au point de vue de la précision relative des

(1) J.-P. COOKE, *Am. Journ. Sci.*, 2^e série, vol. XLIV, 1867, p. 347. — HILLEBRAND, *Bull. of the U. S. Geol. Survey*, n^o 179, 1900, p. 92-96. — HILLEBRAND et STOKES, *American Chemical Soc.*, vol. XXII, n^o 12, 1900.

résultats auxquels il conduit, les qualités de quelques autres méthodes d'analyse des silicates, fournit cependant avec rapidité et avec un matériel relativement peu coûteux (1) des résultats dont l'exactitude est en rapport avec celle que requiert l'application des méthodes de calcul des paramètres magmatiques.

II. — INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS ANALYTIQUES.

A. — *Exposé des résultats analytiques. — Calcul des paramètres magmatiques.*

J'ai effectué, par la méthode analytique dont les principes viennent d'être résumés, un certain nombre d'analyses en bloc sur les types les plus caractéristiques des différents groupes composant ma série de roches alcalines.

Ces types, au nombre de treize, sont désignés dans ce qui suit par chacune des treize premières lettres de l'alphabet.

Voici d'ailleurs la liste des roches analysées :

A. — Microgranite de Ouardji, roche décrite dans le second paragraphe de l'étude minéralogique.

B. — Microgranite de Yaba, roche constituant un terme de passage des rhyolites rubanées aux microgranites et présentant extérieurement un facies rubané peu distinct.

C. — Microgranite du Morne rouge, roche verdâtre, non rubanée, à facies porphyroïde (Pl. IX, fig. 6).

(1) A l'appui de cette opinion, j'ajouterai qu'en l'espace d'une semaine j'ai pu couramment effectuer simultanément six analyses complètes de roches, temps compté depuis le prélèvement des échantillons à analyser jusqu'au calcul des analyses inclus, et cela au moyen d'un matériel composé essentiellement de : platine, 6 creusets de 20 grammes, 6 bassines à fond plat de 50 grammes, couvercle compris, 6 spatules de 10 grammes, un appareil pour le dosage de fer ferreux, 70 grammes; un bain-marie à six trous, deux étuves et quelques douzaines de vases à précipiter et d'entonnoirs. Je ne crois pas que l'emploi d'une méthode analytique autre que la méthode de DEVILLE permette d'arriver au même résultat dans le même laps de temps, et avec un matériel de valeur équivalente.

D. — Rhyolite du Hol-Hol, roche rubanée et plissée, dans laquelle les éléments colorés, assez abondants, constituent des lits vert sombre alternant avec des lits de couleur rosâtre essentiellement quartzeux et feldspathiques (Pl. IX, fig. 4).

E. — Rhyolite de Hélabala, roche décrite dans le paragraphe 2 de l'étude minéralogique (Pl. IX, fig. 5).

F, G, H, I, J. — Pantellérites de facies divers dont les gisements respectifs sont situés en des lieux très distants les uns des autres.

F et H. — (Moullou, Yaba). Roches assez riches en quartz primaire, dont l'élément coloré est constitué en majeure partie par l'amphibole spéciale décrite dans le chapitre précédent.

J. — (Tcheffedonza). Roche pauvre en quartz primaire, dont l'élément coloré est constitué en majeure partie par de l'ægyrine-augite.

G. — (Fantalé). Obsidienne verte renfermant de très rares phénocristaux de quartz, d'anorthose et de cossyrite (Pl. IX, fig. 2).

I. — (Tadetchamalka). Roche très vitreuse, présentant de très rares phénocristaux de quartz et quelques rares phénocristaux de feldspaths, de diopside et d'ægyrine-augite (Pl. IX, fig. 1).

K. — Trachyte à anorthose de Baldji, forme obsidiennique de couleur brune, essentiellement cristallitique.

L. — Microsyénite quartzifère de Karsa, roche décrite dans le paragraphe 3 de l'étude minéralogique (Pl. IX, fig. 7).

M. — Microsyénite ægyrinique d'Arto, roche à structure microgrenue, essentiellement feldspathique et ægyrinique, présentant un faible développement de quartz de seconde consolidation.

Les résultats des analyses relatives à ces roches sont consignés dans le tableau ci-après.

	A.	B.	C.	D.	E.	F.	G.	H.	I.	J.	K.	L.	M.
Perte au feu	1,1	4,4	0,7	1,0	4,4	4,4	0,0	0,9	0,2	0,4	2,2	0,9	0,5
SiO ₂	73,0	73,0	76,0	75,9	76,0	74,4	69,4	74,0	68,5	72,2	71,7	66,5	67,0
Al ₂ O ₃	9,9	10,0	9,4	11,5	12,7	11,8	10,5	10,1	12,4	12,4	14,2	18,9	17,7
Fe ₂ O ₃	6,0	5,9	3,7	3,4	2,1	5,6	3,6	6,0	6,2	3,0	4,6	3,6	4,9
FeO	1,3	0,8	1,1	0,9	0,6	1,4	6,4	2,3	2,2	2,4	1,6	1,3	2,0
MgO	0,2	traces.	traces.	0,4	traces.	0,6	0,1	traces.	0,1	0,5	0,4	0,4	0,2
CaO	0,4	0,3	0,7	traces.	0,2	0,2	0,4	0,6	0,6	0,1	traces.	0,2	0,8
Na ₂ O	4,0	4,6	4,0	4,0	4,0	4,2	6,2	5,2	6,1	4,4	3,8	4,5	6,5
K ₂ O	4,4	4,3	5,2	4,4	4,2	4,3	4,3	5,1	4,5	4,3	4,6	4,8	4,3
	100,3	100,3	100,8	104,2	100,9	100,9	100,6	101,2	100,5	100,4	100,1	101,1	100,9
Densité.....	2,62	2,51	2,56	2,60	2,59	2,49	2,54	2,51	2,47	2,46	2,42	2,65	2,60
			2					1				3	

2. A, B, C, microgranites de Ouadjji, Karoma (bassin supérieur de l'Aouache), Morne rouge (environs d'Obock); D, E, rhyolites à ægyrine et riébeckite du Hol-Hol, de Hélabala.

4. F, G, H, I, J, pantellérites de Moullou, Fantalé (obsidienne), Yaba (bassin supérieur de l'Aouache), Tadetchamalka, Tcheffedonza.

3. K, trachyte à anorthose de Baldji (obsidienne); L, microsyénite quartzifère de Karsa; M, microsyénite ægyrinique d'Arto.

La considération de ces résultats analytiques bruts permet de faire un certain nombre de constatations à l'égard de la corrélation qui existe entre les compositions chimiques globales de nos roches alcalines et leurs compositions minéralogiques respectives.

1° Au point de vue des teneurs en silice et en alumine, le groupe I des pantellérites occupe une position intermédiaire entre les groupes II et III qui concernent respectivement les roches à quartz primaire essentiel et les roches dépourvues de quartz primaire. Faisons observer qu'en passant de ce groupe des pantellérites à l'un des deux groupes pétrographiques qui l'accompagnent, les variations de teneurs moyennes en silice et en alumine se produisent en sens contraire l'une par rapport à l'autre.

2° Pour toutes ces roches, les teneurs en chaux et en magnésie sont pratiquement nulles ; toutes, par contre, se montrent relativement riches en soude, ce qui vient confirmer les observations optiques relatives à la nature de leurs feldspaths, montrant que ces minéraux sont exclusivement alcalins, et correspondent soit à des orthoses sodiques, soit à des anorthoses, soit encore au mélange de ceux-ci.

3° Pour la grande majorité de ces roches, le rapport $\text{Fe}^{2+}\text{O}^{3+} : \text{FeO}$ est supérieur à l'unité, constatation concordant avec celle qui concerne la nature chimique de leurs éléments colorés caractéristiques, éléments pour lesquels la valeur du rapport $\text{Fe}^{2+}\text{O}^{3+} : \text{FeO}$ est toujours supérieure à l'unité.

Il semble donc résulter de ce qui précède que toutes présentant, aussi bien au point de vue de la composition minéralogique qu'à celui de la composition chimique globale, des caractères de parenté indiscutables, nos roches alcalines sont susceptibles, par une interprétation convenable de leurs compositions chimiques respectives, d'être scindées en trois groupes, ces groupes devant d'ailleurs correspondre exactement aux trois groupes entre lesquels nous avons réparti ces roches en nous appuyant sur des considérations d'ordre exclusivement minéralogique. En réalité il n'en est rien cependant, et c'est ce que je m'efforcerai de démontrer, en interprétant mes résultats analytiques au

moyen de paramètres magmatiques qui sont préconisés actuellement, en vue d'établir une classification chimique des roches ignées.

Cette interprétation de mes résultats, je me suis borné à la faire, soit en appliquant les principes exposés par MM. CROSS, IDDINGS, PIRRSO et WASHINGTON, dans leur *Quantitative Classification of Igneous rocks* (1), soit en appliquant ceux que M. Michel Lévy a développés dans deux mémoires dont la publication a suivi de près celle du travail des auteurs américains (2).

Je rappellerai très brièvement les bases de ces deux méthodes.

Dans la méthode des auteurs américains, pour calculer les paramètres magmatiques d'une roche, on commence par transformer les pourcentages en divers oxydes que l'analyse a fait ressortir, en nombres de molécules respectivement correspondants ; au moyen de ces nouveaux chiffres, on calcule, en suivant un ordre déterminé, une composition à la fois minéralogique et centésimale, une composition en quelque sorte virtuelle de la roche étudiée, et ce, en fonction d'éléments dont un certain nombre correspondent à des minéraux réels, les autres n'étant que des isomorphes théoriques de composés cristallisés existant à l'état naturel. Ce sont ces pourcentages en minéraux, virtuels ou réels, ainsi que les nombres moléculaires relatifs aux diverses teneurs de la roche en soude, potasse et chaux attribuables à l'élément blanc, qui permettent de calculer la valeur d'un certain nombre de rapports constituant les caractéristiques chimiques, les *paramètres magmatiques* de cette roche, et permettent de lui assigner une place dans la classification des roches ignées des auteurs américains.

Dans la méthode de M. Michel Lévy, on ne cherche pas à établir une composition minéralogique virtuelle de la roche que l'on étudie ;

(1) *Quantitative Classification of Igneous Rocks, based on chemical and mineral characters with a systematic nomenclature. The University of Chicago Press, Chicago. William Wesley and son, London, 1903.*

(2) Contribution à l'étude des magmas chimiques dans les principales séries éruptives françaises. *Bull. des services de la carte géol. de France*, n°s 92 et 96, 1903.

en partant directement des résultats analytiques bruts, on détermine la valeur de divers paramètres Φ , r , C' , n' , Ψ , au moyen des teneurs calculées de la roche en potasse, soude et chaux feldspathisables ou non, silice des éléments blancs, éléments ferromagnésiens, cette dernière teneur étant calculée.

Les nombres paramétriques ainsi obtenus permettent de déterminer la place que doit occuper la roche correspondante parmi les différentes divisions et subdivisions que M. Michel Lévy a établies dans son tableau de classification magmatique des principales séries éruptives.

La méthode des auteurs américains, en raison des compositions minéralogiques virtuelles auxquelles elle conduit, permet d'obtenir des éléments communs d'appréciation sur les relations existant entre les compositions chimiques des roches auxquelles elles correspondent exactement au point de vue quantitatif, et les compositions minéralogiques réelles de ces mêmes roches, auxquelles elles correspondent qualitativement, d'une façon seulement approchée, tandis que dans la méthode de M. Michel Lévy, on fait abstraction de toute considération minéralogique de ce genre.

Cependant, bien que par des moyens différents, ces deux méthodes conduisent à des résultats qui ne se distinguent guère qu'en raison des limites entre lesquelles sont susceptibles de varier les paramètres dans les divisions particulières aux deux classifications correspondantes.

Il est à remarquer, d'autre part, que les résultats obtenus par l'un ou l'autre de ces procédés de calcul ne diffèrent pas essentiellement de ceux qui résultent de la considération des diagrammes représentatifs dont M. Michel Lévy a décrit les procédés de construction dans son mémoire de 1897 sur la classification des magmas des roches éruptives (1).

L'application à mes résultats analytiques de la méthode de calcul des auteurs américains permet d'établir que, dans leur ensemble, les

(1) *Bull. Soc. Géol. de France*, 3^e série, XXV, p. 326-377.

roches correspondant à mes analyses ont une composition minéralogique virtuelle dans laquelle l'*acmite* (élément ferrico-sodique théorique de composition : Fe^2O^3 , Na^2O , 4 SiO^2), qui y figure l'élément matasilicaté sodique, est moins fréquemment représentée que la magnétite ; c'est là un résultat inverse de celui que nous a montré l'examen minéralogique de nos roches alcalines, où des métasilicates sodiques font toujours partie de l'élément coloré, tandis qu'au contraire la magnétite ne s'y observe jamais. Aussi, afin de voir si l'application d'une variante de cette méthode conduisait à des résultats plus figuratifs que ceux fournis par la stricte application de ses principes, après avoir calculé une première fois mes résultats de façon à pouvoir déterminer les roches correspondantes au point de vue de la classification américaine, je les ai calculés à nouveau, cette fois de façon à faire ressortir le caractère essentiel des éléments métasilicatés sodiques dans mes roches. Dans le premier cas, l'*acmite* est déterminée après calcul préalable des feldspaths, de la magnétite et de l'hématite ; dans le second, l'*acmite* est au contraire déterminée immédiatement après les feldspaths, en attribuant à ce composé théorique tout ce qu'il est possible de lui attribuer de soude non feldspathisable. En opérant ainsi, j'ai obtenu pour toutes mes roches des compositions virtuelles dans lesquelles la magnétite n'entre pas en jeu, et où par contre l'*acmite* est constamment représentée.

Sur la double série de résultats ainsi obtenue, j'ai effectué, en suivant cette fois de part et d'autre les prescriptions de la méthode américaine, les calculs paramétriques relatifs à mes roches, ce qui m'a fourni un double tableau de leur répartition dans la classification de MM. CROSS, IDDINGS, PIRRSOON et WASHINGTON.

De même, ayant appliqué à mes roches la méthode de calcul préconisée par M. Michel Lévy, je les ai réparties dans le tableau de classification des roches éruptives que ce savant a publié dans sa seconde note sur « l'Étude des magmas chimiques ».

J'ai consigné les résultats de ces divers calculs dans les tableaux annexés à ce présent mémoire.

Dans le tableau I, au-dessous des pourcentages des oxydes entrant en composition dans mes roches, on trouvera ces mêmes résultats transformés en nombres de molécules.

Dans les tableaux de II à X inclus, qui sont établis selon la méthode américaine, les parties gauche et droite concernent respectivement des résultats obtenus en suivant, soit la méthode normale de calcul, soit la méthode modifiée ainsi que je l'ai exposé plus haut.

Les tableaux de II à VIII donnent, pour chacune des roches de notre série alcaline, une double composition minéralogique, ainsi que les éléments du calcul de leurs paramètres et les valeurs de ceux-ci.

Sur les tableaux IX et X, les divers résultats consignés dans les sept tableaux précédents sont récapitulés et ordonnés dans des colonnes horizontales; de plus, dans le tableau X, j'ai figuré schématiquement, au-dessous des valeurs des paramètres magmatiques, la position occupée par chacune de mes roches dans la classification américaine.

Enfin le tableau XI réunit et coordonne les résultats auxquels m'a conduit l'application de la méthode de M. Michel Lévy, en plaçant également au-dessous de ces derniers une représentation schématique de la place occupée par chacune de mes roches dans le tableau de classification dressé par ce savant (1).

B. — Interprétation des résultats auxquels conduisent les calculs des paramètres magmatiques.

Le caractère de parenté de nos roches, accusé, ainsi que je l'ai montré plus haut, par les analogies que présentent entre eux certains des résultats bruts fournis par l'analyse en bloc, est également accusé, et même légèrement accentué, par la considération des données que l'on trouvera consignées dans quelques-unes des colonnes horizontales des tableaux IX, X et XI.

(1) Sur les tableaux IX, X, XI, les treize roches analysées sont désignées par chacune des treize premières lettres de l'alphabet, au-dessous desquelles l'indication de un, deux, ou trois points, fait connaître le groupe dont elles dépendent minéralogiquement.

Ces données nous permettent en effet de faire les constatations suivantes :

1° L'orthose (IX) est un élément virtuel auquel le calcul attribue une proportion à peu près constante dans notre famille alcaline.

2° Toutes nos roches occupent le même rang (X) dans la classification américaine, quel que soit le mode de calcul que j'aie employé (cela en raison de la teneur très faible ou nulle de ces roches en chaux feldspathisable); toutes, en outre, dépendent du troisième subrang de cette même classification (X, *a*).

3° D'après M. Michel Lévy, toutes ces roches sont *ferriques et mégapotassiques* (MgO toujours très faible ou nul, $\frac{k}{n}$ toujours compris entre 0,90 et 2,5, sauf pour la roche M).

D'autre part, l'examen des tableaux schématiques X et XI montre que ces roches se répartissent dans des compartiments contigus des classifications chimiques, ce qui permet d'admettre qu'elles font partie d'une série magmatique continue.

On voit donc que nos roches alcalines appartiennent, aussi bien au point de vue minéralogique qu'au point de vue magmatique, à une série pétrographique continue (1) dont les différents termes présentent les uns vis-à-vis des autres de nombreux caractères de parenté. Cette observation me porte à considérer que ces roches constituent des facies de variation d'un même magma acide et sodico-potassique.

Quelle peut être la nature de la variation qui affecte le *magma* de notre série alcaline ? Les résultats consignés dans les colonnes horizontales du tableau IX (*a*) montrent que cette variation est essentiellement fonction de variations secondaires portant sur les pourcentages en quartz, albite et fem virtuels ; on pourra constater en outre, dans chacun des quatre groupes (I, II, III, IV) indiqués sur le tableau X (*a*), que les valeurs moyennes de chacun de ces éléments virtuels sont

(1) Je ferai observer que ce sont les résultats fournis par l'application de la méthode américaine modifiée, qui permettent le mieux de mettre en évidence ce caractère, par suite des limites très resserrées entre lesquelles le paramètre de classe s'y trouve varier.

telles, que le passage de l'un de ces groupes à un groupe voisin s'effectue par suite d'une variation dans un même sens de deux de ces éléments virtuels, contrebalancée dans une certaine mesure par une variation en sens contraire du troisième.

Ce sont ces variations que schématisent les croquis ci-dessous, concernant chacun nos quatre groupes magmatiques, suivant que ceux-

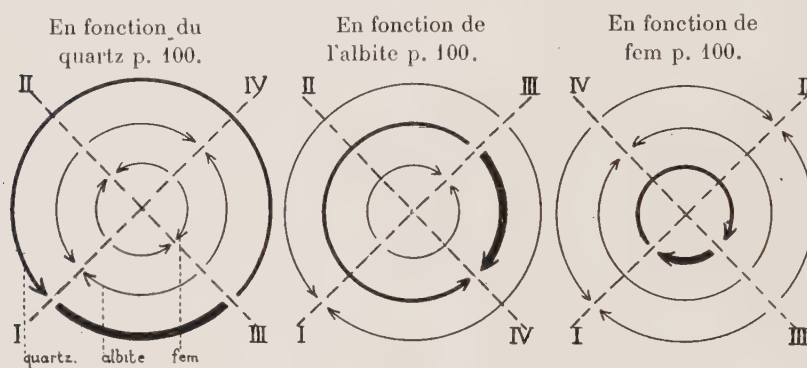


Fig. 19.

ci sont ordonnés en fonction de leurs teneurs moyennes respectives en quartz, en albite ou en fem p. 100.

Bien que les caractères minéralogiques et chimiques de nos roches se montrent unis par des liens assez étroits, ces liens ne sont pas tels que les divisions minéralogiques et structurales que nous avons créées dans notre série alcaline soient identiques à celles qu'introduisent dans ce groupe pétrographique les considérations d'ordre magmatique.

L'examen des schémas des tableaux X et XI nous fait voir en effet ce qui suit :

1° Le groupe des rhyolites-microgranites, qui dépend du magma granitique, conformément aux données fournies par l'*examen minéralogique*, conserve bien son individualité vis-à-vis des deux autres groupes qui l'accompagnent ; cependant, il se scinde de telle façon que le passage des rhyolites aux microgranites ne peut pas être considéré comme susceptible de se produire par suite d'une modification exclusivement structurale. Les données fournies par le tableau IX (a)

nous montrent, en particulier, que cette modification structurale s'accompagne de variations portant essentiellement sur les teneurs respectives de ces deux sortes de roches, en quartz et fem p. 100 ; ces variations se produisent en sens contraire, et se compensent sensiblement.

2° Le groupe des trachites-microsyénites ne se maintient pas au point de vue magmatique, et bien que les résultats auxquels conduisent à cet égard les différents calculs paramétriques soient divers, on voit clairement qu'une roche telle que le trachyte à anorthose K ne peut pas être considérée comme étant nettement différente de nos rhyolites ou de nos pantellérites les plus acides ; de plus, si à certains égards on peut considérer que la microsyénite de Karsa L est une forme assez profonde d'un magma voisin de celui de ce trachyte à anorthose, il est rigoureusement impossible d'admettre au point de vue magmatique les conclusions de l'examen micrographique conduisant à faire figurer dans un même groupe la microsyénite d'Arto M et ce même trachyte.

3° Dans le groupe des pantellérites, les variations de composition chimique sont assez considérables ; toutefois, elles ne semblent pas être en corrélation avec celles qui affectent la proportion de quartz primaire existant dans la pâte de ces roches ; aussi, le groupe des pantellérites appartenant pratiquement (1) en entier à l'ensemble des roches issues du magma granitique, ainsi qu'on peut le constater, il semblera légitime, à tous les égards, de ne pas scinder le groupe de ces roches en prenant en considération la base si incertaine de la présence ou de l'absence du quartz de première consolidation.

Quelle que soit la méthode de calcul appliquée aux résultats analytiques concernant ces roches, on voit qu'elles peuvent se répartir en deux sous-groupes comprenant, l'un, des roches peu différentes des rhyolites alcalines banales, et l'autre, des roches se distinguant des précédentes par une teneur élevée en éléments ferrifères. Cependant, en raison de ce que l'ensemble de ces roches pantelléritiques

(1) Cette restriction se rapporte à la roche I que la classification de M. Michel Lévy fait dépendre du magma syénitique.

constitue à tous les points de vue une série pétrographique continue, on ne voit pas trop à quel endroit devrait être établie la coupure magmatique de cette série, en se basant sur le caractère auquel je viens de faire allusion (1).

Il est difficile de mettre en évidence, au moyen des données magmatiques que nous avons à notre disposition, les relations que nous avons observées entre les enclaves homogènes des pantellérites, et nos roches microgrenues.

Cette difficulté résulte de ce que l'on ne peut identifier les divers résultats auxquels conduisent les méthodes de calcul dont j'ai fait usage.

En effet, le calcul américain effectué normalement nous montre que certaines pantellérites ont des équivalents holocristallins offrant les caractères minéralogiques de notre microsyénite quartzifère L, tandis que, d'autre part, le calcul de M. Michel Lévy, aussi bien que le calcul américain modifié, nous portent à admettre que les pantellérites peuvent avoir certains équivalents holocristallins comparables à nos microgranites, en même temps que certains autres comparables à nos microsyénites.

Mais il est possible que, si l'application régulière de la méthode américaine ne conduit pas pour mes roches à cette dernière interprétation de la nature de leur magma, ce résultat puisse être attribué à la pénurie des données analytiques personnelles sur lesquelles je me suis basé précédemment ; si l'on réunit, en effet, dans un même tableau de répartition, les roches décrites sous les noms de *grörudites* et de *pantellérites* dont les analyses ont été publiées, on voit que la méthode de calcul des auteurs américains conduit à répartir les magmas respec-

(1) Pour un certain nombre de pétrographes, les pantellérites sont caractérisées au point de vue chimique par leur faible teneur en alumine, la prédominance de la soude sur la potasse et la quantité importante des oxydes de fer entrant dans leur composition. Dans cette acception ces roches constitueraient des rhyolites alcalines mésocrates, rentrant dans le groupe grörudose-pantellérose de la classification américaine. Mais aucune considération minéralogique ou structurelle ne m'autorise à envisager en particulier celles de mes roches répondant à cette conception du sens à attribuer au nom de pantellérite, pas plus qu'il n'y a lieu dans le groupe des granites, de séparer nettement les types mésocrates de ces roches, des types leucocrates et mélanocrates.

tifs de ces roches à peu près exclusivement entre ces groupes II, III, IV que j'ai déjà mis en évidence sur le tableau schématique X (a).

C'est ce que fait ressortir l'examen du tableau XII, dans le schéma duquel les roches de ma série alcaline sont jointes à celles dont il vient d'être question (1). Ce dernier résultat, traduit en un langage conforme à celui qu'emploient les auteurs américains, permet donc de considérer que les pantellérites se répartissent, au point de vue magmatique, entre les groupes :

Varingose — néant;

Grörudose — Pantellerose;

Liparose — Kallerudose.

Ces roches ont donc pour équivalents holocristallins des *grörudites*, ou des roches telles que nos *microgranites* et nos *microsyénites quartzifères*.

Ces conclusions ne me paraissent d'ailleurs pas contradictoires avec ce qu'a écrit le professeur Rosenbusch au sujet des relations existant entre les *pantellérites* et les *tinguaïtes quartzifères* (*grörudites*) (2); aussi les adopterai-je pour les pantellérites de notre région, d'autant plus qu'elles concordent avec les observations que j'ai présentées au sujet des enclaves homœogènes de ces roches, au cours du chapitre précédent.

(1) Sur le même tableau figurent également les analyses relatives à un certain nombre d'autres roches alcalines. Parmi ces dernières, je signalerai les deux *païsánites* (17, 18) et la *comendite* (16), que les valeurs de leurs paramètres magmatiques font dépendre du magma pantelléritique que je viens de délimiter. Cette dernière constatation concorde avec les observations déjà présentées au cours de l'étude micrographique, et relatives aux analogies qui unissent respectivement ces deux roches à nos microgranites et aux types poreux de nos pantellérites.

(Sur ce schéma, les pantellérites et les grörudites sont distinguées par un point placé à côté des chiffres ou lettres qui les désignent respectivement; de plus, les types pétrographiques holocristallins qui y figurent sont soulignés d'un trait. Les quatre dernières colonnes horizontales du tableau de chiffres concernent respectivement, de haut en bas, les teneurs en quartz, élément feldspathique, élément blanc, élément coloré, obtenues par le calcul des analyses des diverses roches envisagées.)

(2) H. ROSENBUSCH, *Elemente der Gesteinslehre*, p. 258 : Die Pantellerite erinnern an die tinguaita unter ganggesteinen ; — p. 243 : Die Quarztinguaitegänge entsprechen in gewissen Sinne den Pantelleritergüssen.

Le magma pantelléritique ainsi conçu est donc essentiellement variable, et nos roches alcalines A, B, C — H, G, I, K — J, F, L représentent un certain nombre de ses formes de consolidation.

Si l'on cherche à établir la nature de la variation de magma des pantellérites dans la région étudiée, en se servant des données chimiques fournies à cet égard par toutes celles de mes roches que je fais dépendre du dit magma, les chiffres fournis par le calcul américain (IX, a) permettent de constater que cette variation résulte essentiellement des variations secondaires relatives aux teneurs en quartz, albite et fem.

Les valeurs moyennes de chacun de ces éléments virtuels dans chacun des groupes II, III, IV (1), entre lesquels sont répartis les magmas des roches auxquelles je viens de faire allusion, sont telles, que les variations de composition résultant du passage de l'un à l'autre de ces groupes sont exprimées par une permutation circulaire des variations

secondaires de leurs teneurs moyennes respectives en quartz, albite et fem virtuels.

Le croquis ci-contre schématise cette variation.

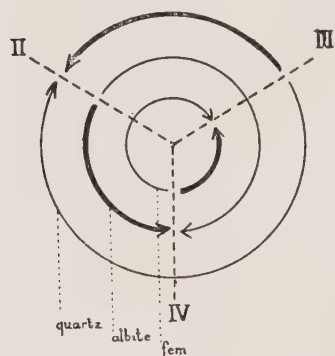


Fig. 20.

J'ai fait remarquer, quelques pages plus haut, qu'il était impossible de faire figurer dans un même groupe magmatique des roches telles que le trachyte à anorthose K et la microsyénite d'Arto M.

Cette microsyénite en effet, en raison de la valeur de ses divers paramètres, rentre dans la catégorie des *Nordmarkoses* de la classification américaine (2) et dépend du *magma syénitique, mégapotassique* de M. Michel Lévy. En d'autres termes, la forme holocristalline grenue

(1) Varingose-néant (II), Grörudose-Pantellerose (III), Liparose-Kallerudose (IV).

(2) Il en est d'ailleurs de même des *sölvsbergites* 19 et 20, qui lui sont réunies sur le tableau schématique XII.

du magma ayant donné naissance à cette roche, est une *syénite alcaline*.

La microsyénite d'Arto n'est pas séparable de notre série alcaline, puisque ses équivalents se trouvent à l'état d'enclaves homœogènes dans la pâte des pantellérites ; je ne fais cependant pas dépendre son magma de celui de ces roches tel que je l'ai délimité plus haut, à défaut d'éléments analytiques m'autorisant à étendre plus que je ne l'ai fait le groupe qu'elles constituent ; je n'ai, en effet, compris dans ce groupe que des types pétrographiques dépourvus de chaux feldspathisable.

Il est donc légitime à tous les points de vue de considérer que cette microsyénite M constitue un type de passage de notre série alcaline à une autre série pétrographique caractérisée au point de vue chimique par de hautes teneurs en alcalis et en alumine, celle des roches syénitiques.

Mais il ne semble pas que, dans notre région, la famille des roches alcalines soit restreinte aux seuls représentants étudiés ci-dessus. En effet, la roche de Bourka (1), d'après les caractères qu'elle présente, permet de juger que, dans cette partie de l'Afrique orientale, cette famille comprend également des types pétrographiques caractérisés au point de vue minéralogique par la présence de la néphéline parmi leurs éléments constitutifs.

Au reste, si je ne puis fournir qu'un seul exemple personnel à l'appui de cette opinion, les écrits pétrographiques concernant l'Afar et les plateaux qui le bornent montrent que plusieurs types de ces roches ont été signalés sur ces territoires, et que la famille des roches à néphéline y comprend même des types très basiques, des *téphrites à olivine*.

C'est ainsi qu'à Bilo (2), d'après Miss Raisin, et au mont Goré, d'après P. Gaubert (3), au sud-ouest du plateau abyssin se trouvent des gisements de *phonolites néphéliniques* (les roches du mont Goré présentant la particularité d'être riches en olivine), en même temps que

(1) Voir la note 2 de la page 61.

(2) *Quart. Journ.*, 1903, p. 298.

(3) *Bull. Muséum Hist. nat.*, 1901, p. 27.

beaucoup plus à l'est, au mont Elmis, à l'ouest de Berbéra, des *téphrites à olivine* ont été signalées (1).

D'autre part, nous savons également que plusieurs des roches alcalines étudiées plus spécialement dans ce mémoire ne sont pas particulières aux régions que j'ai visitées dans l'Afar et les plateaux abyssin et somali.

En effet, Miss Raisin (2) a signalé une roche de la nature des *linguaïtes à ægyrine*, à Garsa (3), sur le bord nord du plateau somali.

Sur le plateau abyssin, en allant du sud au nord, on a constaté la présence de *trachytes phonolitiques* non seulement au mont Saquala (4) (Zuquala?), mais encore entre Entotto et le mont Ménaghescia (5).

M. Michel Lévy (6) a étudié, d'après des échantillons rapportés par Aubry des bords de la Jumma, des roches filoniennes qui doivent être rapprochées des *linguaïtes*.

Enfin, récemment encore, M. Prior a signalé, au nord du Tigré, dans la région d'Adoua-Axoum, où ont été recueillis précisément les échantillons de la collection Ferret et Galinier que j'ai étudiés, toute une importante série de roches alcalines comprenant des *paisanites*, des *grö-rudites*, des *sölvbergites*, des *trachytes à anorthose* et des *linguaïtes* (7).

Si l'on relie tous ces résultats, antérieurement acquis (8), à ceux que j'ai signalés au cours de ce mémoire, en tenant tout particulièrement compte de l'extension considérable des épanchements des roches alcalines volcaniques dans les pays que j'ai traversés, il semble permis

(1) BRUNO DOSS, Die Basaltischen Laven des Provinz Hauran, etc. *Tchermak's min. u. petr. Mitt.*, VII, 1886, p. 465.

(2) *Quart. Journ.*, 1903, p. 299.

(3) Cette localité correspond sans doute à Karsa. A Karsa se trouve, en effet, une roche ægyrinique, que j'ai décrite plus haut sous le nom de *mycrosyénite quartzifère*.

(4) MISS RAISIN, *Op. cit.*, 1903, p. 299-300.

(5) ROSIWAL, Beitr. zur geol. Kenntniss des östlichen Afrika. *Denkschr. Akad. Wiss. Wien. Math. Naturw. Cl.*, LVIII, 1891, p. 59 (523).

(6) *C. rendus*, CII, 1886, p. 451.

(7) *Min. Mag.*, XII, 1900, p. 260-271.

(8) Voir également à ce sujet la note 2, p. 38,

de conclure que la région africaine envisagée constitue une province pétrographique où abondent les types riches en alcalis.

Cette province pétrographique ne semble d'ailleurs pas être limitée à la région dont il vient d'être question; il est possible qu'elle s'étende à un vaste territoire, embrassant une grande partie de l'Afrique orientale et de ses dépendances géologiques des bords asiatiques de la mer Rouge. C'est en effet ce qui semble résulter du très grand nombre de gisements de roches alcalines qui ont été signalés dans cette région du globe, gisements qui, par suite de leur répartition géographique, se trouvent jalonner pour la plupart la fosse érythréenne, ainsi que l'a fait remarquer M. A. LACROIX (1).

L'examen de la répartition des roches alcalines à la surface du continent africain ne rentre pas dans le cadre de ce travail. Je dois cependant rappeler ici qu'en Afrique, en dehors de la province pétrographique dont il vient d'être question, on ne connaît de roches alcalines et acides comparables à certaines de celles qui ont fait plus particulièrement l'objet de cette étude, que dans la région du Tchad. Ce sont les rhyolites à ægyrine recueillies par MM. Foureau, Lacoïn, et par la mission Chari-Tchad à l'Hadjer el Hamis, sur la rive sud du Tchad (2), celles rapportées par le commandant Lenfant de M'Bourao (lit du Mayo Kebbi, affluent de la Bénoué) (3), et les microgranites de Gouré (région de Zinder) (4).

(1) Les roches alcalines caractérisant la province pétrographique d'Ampasindava. *Nouv. Arch. du Muséum d'hist. nat.*, 4^e série, I, 1902, p. 156.

L'énumération des gisements dont il vient d'être question ayant été présentée dans cette étude, p. 156-159, en même temps que la bibliographie qui lui est relative, je ne reviendrai pas ici sur ce sujet.

(2) L. GENTIL, Sur l'existence de roches alcalines dans le centre africain. *Comptes rendus*, CXXXIX, 1904, p. 413.

(3) H. HUBERT, Sur quelques roches du centre africain. *Bull. du Muséum d'hist. nat.*, 1904, p. 412.

(4) A. LACROIX, Sur les microgranites alcalins du territoire de Zinder. *Comptes rendus*, CXL, 1905, p. 22.

RÉSUMÉ GÉNÉRAL ET CONCLUSIONS

Il y a trois conclusions principales à tirer de ce travail :

1° Les roches volcaniques alcalines présentent une énorme extension dans la région est-africaine que j'ai visitée.

2° Ces roches sont d'une nature spéciale : elles sont toutes acides et se rapportent pour la plupart à des types tels que les pantellérites et les rhyolites à ægyrine et riébeckite, considérés jusqu'à présent comme des raretés pétrographiques localisées dans un petit nombre de régions de peu d'importance géographique [Pantelléria, San Carlos (Texas), île San Pietro (Sardaigne), Mosquez Cañon (Texas)].

Elles offrent un grand intérêt non seulement à cause de leur nature pétrographique, mais aussi à cause de la grande importance du rôle géologique que pour la première fois on leur voit jouer.

3° Je me suis attaché à mettre en lumière la constitution minéralogique et chimique de ces roches, mais je rappellerai ici d'une façon spéciale celle des pantellérites. Ces dernières roches, ainsi que celles étudiées par Förstner à Pantelléria, sont caractérisées au point de vue minéralogique par la nature alcaline de leurs feldspaths, par la présence de l'ægyrine-augite et de la cossyrite parmi leurs éléments essentiels constants, enfin par l'absence de feldspaths calcosodiques, de magnétite et d'ilménite. Il convient d'insister tout particulièrement sur l'existence irrégulière du quartz de première consolidation, ce qui, dans une classification purement minéralogique, conduirait à les considérer suivant les cas, soit comme des trachytes, soit comme des rhyolites.

La discussion de leurs caractères chimiques montre que la présence ou l'absence du quartz primaire n'entraîne pas de changements corré-

latifs de leur composition. C'est pourquoi je les ai considérées comme constituant un groupe pétrographique homogène, que j'ai cherché à préciser, et dont j'ai tâché de montrer les termes de passage au groupe pétrographique voisin, dans l'ensemble des roches caractérisant cette grande province pétrographique de l'Est-Africaï. L'étude plus détaillée de cette province permettra certainement d'en démontrer la complication, que fait entrevoir déjà l'existence de quelques roches moins acides que celles qui ont fait plus particulièrement l'objet de cette étude.

APPENDICE

ROCHES BASALTIQUES

Les roches basaltiques offrant des développements considérables dans les pays Dankali et Issa-Somali, ainsi que sur les bords des plateaux limitant ces territoires au sud et au sud-ouest, il m'a paru utile de consigner ici les résultats auxquels m'a conduit l'étude de leur constitution minéralogique et chimique.

Ces roches basaltiques se subdivisent naturellement en deux groupes. L'un d'eux est constitué par des roches âpres au toucher, très faiblement magnétiques, et offrant avec constance le facies doléritique ; l'autre groupe comprend des roches compactes, magnétiques en général, dans lesquelles l'olivine n'est pas constante ; ces dernières roches sont le plus souvent microlitiques.

Au point de vue géologique, je rappellerai que les roches du premier groupe sont toujours les plus récentes des séries volcaniques auxquelles elles appartiennent ; je ne les ai rencontrées que dans les régions basses du pays. Celles du second groupe existent aussi bien sur les plateaux que dans les régions basses du pays ; je les ai trouvées soit à la surface, soit à un niveau inférieur ; dans le premier cas, j'ai pu constater en bien des endroits qu'elles reposaient directement sur des calcaires, des grès, des schistes cristallins ; dans le second, des falaises abruptes, des cañons, des failles, me les ont montrées recouvertes par des roches alcalines, ou bien par les basaltes doléritiques dont il vient d'être question.

L'étude des lames minces montre que les roches du premier groupe sont à peu près holocristallines et constituées par des grou-

pements ophitiques de feldspaths basiques et d'augite associés à de l'olivine en grains bien développés et abondants, ainsi qu'à de la magnétite et à de l'ilménite. Ces roches sont de véritables basaltes doléritiques; elles représentent bien un terme de passage des basaltes à structure microlitique aux diabases à olivine. Les feldspaths déterminés par leurs extinctions répondent en moyenne au labrador $Ab^3 An^4$; leurs termes extrêmes sont le labrador $Ab^1 An^1$ et la bytownite; l'olivine limpide, vert clair, renferme fréquemment en assez grande abondance de petits octaèdres de picotite jaune de miel, ainsi que des inclusions vitreuses.

Les roches qui constituent le second groupe sont microlitiques ou ophitiques; dans ce dernier cas, ce sont les plus récentes des roches volcaniques auxquelles elles sont associées. Les minéraux qui les constituent sont les mêmes que ceux des dolérites; cependant les microlites feldspathiques y descendent souvent à l'andésine, et dans un cas (basalte à anorthite du Gubbet-Karab), les phénocristaux de feldspath sont constitués par de l'anorthite et atteignent un développement assez considérable. Ces roches comprennent: des basaltes francs, des labradorites, des labradorites doléritiques. Dans les types porphyriques, les phénocristaux feldspathiques sont quelquefois zonés; parfois ils se groupent ophitiquement avec de l'augite, tout en gardant les uns et les autres des formes géométriques nettes; dans ce cas, l'augite montre des traces manifestes d'actions mécaniques (cassures, torsion, extinctions roulantes); l'olivine se présente le plus souvent en très petits grains; dans les basaltes francs, elle renferme quelquefois de petits octaèdres de picotite (Pl. X, fig. 6).

Dans ces deux groupes pétrographiques, l'ilménite et la magnétite sont abondants; cependant il est à remarquer, d'une façon générale, que les roches de la côte en sont notablement moins chargées que celles de l'intérieur; dans les labradorites doléritiques en particulier, la magnétite en gros octaèdres, l'ilménite en lames, sont moulées ainsi que les microlites feldspathiques par l'augite qui, dans ce cas, est brune, violacée, et légèrement polychroïque (Pl. X, fig. 7).

J'ai effectué les analyses en bloc de ces diverses roches (1); en voici les résultats :

	<i>a.</i>	<i>b.</i>	<i>c.</i>	<i>d.</i>	<i>e.</i>	<i>f.</i>	<i>g.</i>	<i>h.</i>	<i>i.</i>	<i>j.</i>
SiO ₂	46,6	48,7	48,9	46,3	49,8	49,3	49,2	46,2	50,1	47,3
TiO ₂	1,4	1,7	1,4	1,8	3,8	3,9	2,3	4,0	1,3	3,4
Al ₂ O ₃	18,8	15,7	18,9	20,1	17,9	16,0	18,0	19,0	19,6	17,8
Fe ₂ O ₃	0,4	1,5	0,3	2,7	2,9	3,3	3,1	1,3	1,8	4,2
FeO.....	9,1	12,5	9,0	10,0	11,5	11,1	8,9	13,2	9,5	11,5
CaO.....	10,6	10,1	12,2	9,3	7,1	8,6	8,8	7,7	7,1	7,1
MgO.....	12,2	6,0	6,0	7,8	4,6	5,2	4,9	4,7	4,9	4,5
K ₂ O.....	0,2	0,5	0,3	0,7	0,8	0,6	0,7	0,7	1,2	1,1
Na ₂ O.....	2,1	3,3	3,0	2,9	3,2	2,9	2,7	2,7	3,1	2,8
Perte au feu.	0,1	1,0	0,5	0,0	0,0	0,5	1,5	1,5	1,5	1,6
	101,5	101,0	100,5	101,6	101,6	101,4	100,1	101,0	100,1	101,3
Densité.....	3,00	3,01	2,90	2,94	2,97	2,92	2,91	3,01	2,87	2,93

a, b, c, roches de la côte ; *d, e, f, g, h, i, j*, roches de l'intérieur.

(p b) = pays bas ; (P) = plateaux ; (n i) = niveau inférieur ; (n s) = niveau supérieur.

a. Basalte doléritique, Yabélé, près Djibouti ; *b.* Labradorite, sommet double (Chissi) près Djibouti ; *c.* Basalte à anorthite, fond du Gubbet-Kharab.

d. Basalte doléritique, Ouaramalka (p b) ; *e.* Labradorite, Kara-Kourkoura (P. n i).

f. Basalte, Guildessa (p b) ; *g.* Labradorite doléritique, Kara-Kourkoura (P. n s).

h. Labradorite doléritique, Irna (P. n s) ; *i.* Basalte, Arto, Djebel Guemel (p b).

j. Basalte, Baldji (p b. n i).

L'interprétation de ces résultats conduit à admettre pour ces roches une composition minéralogique concordant avec les déterminations microscopiques relatives à la nature des feldspaths, mais quelquefois en contradiction avec la constatation de l'absence de l'olivine dans les types porphyroïdes.

Au point de vue magmatique, toutes ces roches sont caractérisées par une haute teneur en alumine. De plus, les roches de l'intérieur sont très notablement plus riches en TiO₂ et Fe₂O₃ que celles de la

(1) Toutes les roches dont il vient d'être question sont mélanocrates ; je crois devoir rappeler ici, que des types beaucoup plus clairs, des basaltes se rapportant à mon second groupe, se rencontrent assez avant sur le plateau du Choa ; ce sont ces basaltes qui recouvrent superficiellement la vaste plaine au milieu de laquelle se trouve Addis-Abbeba.

côte ; la différence qui existe entre elles est encore accusée par les valeurs du paramètre magmatique $\frac{\text{K}^2\text{O}}{\text{Na}^2\text{O}}$, en raison desquelles les premières rentrent dans le cinquième subrang de la nouvelle classification américaine et les secondes dans le quatrième. L'application à mes résultats du calcul des paramètres établis par M. Michel Lévy permet d'observer la même scission dans ces roches, quand on considère le paramètre C' défini par ce savant.

Il semble résulter de ces observations, que les roches basaltiques passées en revue ci-dessus sont susceptibles d'une distinction magmatique en relation avec la position géographique de leurs gisements ; elle s'accompagne de variétés structurelles dépendant exclusivement des conditions de consolidation.

Au reste, il est une constatation qui domine toutes les autres ; c'est que l'on est conduit, par l'application de l'une ou l'autre méthode de calcul des paramètres magmatiques, à considérer nos roches basiques comme appartenant à une série franchement basaltique, et non à une série néphélinique (néphélinites et téphrites) que je m'attendais d'autant plus à rencontrer, que des gisements de ces dernières roches ont été signalés dans une région relativement voisine.

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS ANALYTIQUES

(TABLEAUX I A XII)

CALCUL DES PARAMÈTRES MAGMATIQUES

Composition centésimale													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
SiO_2	73,0	73,0	76,0	75,9	76,0	71,4	69,1	71,0	68,5	72,2	71,7	66,5	67,0
Al^{20}_3	9,9	10,0	9,4	11,5	12,7	11,8	10,5	10,1	12,1	12,4	14,2	18,9	17,7
Fe^{20}_3	6,0	5,9	3,7	3,4	2,1	5,6	3,6	6,0	6,0	3,0	1,6	3,6	1,9
FeO	1,3	0,8	1,1	0,9	0,6	1,4	6,4	2,3	2,3	2,4	1,6	1,3	2,0
MgO	0,2	tr	tr	0,1	tr	0,6	0,1	tr	0,1	0,5	0,4	0,4	0,2
CaO	0,4	0,3	0,7	tr	0,2	0,2	0,4	0,6	0,6	0,1	tr	0,2	0,8
Na^{20}_2O	4,0	4,6	4,0	4,0	4,0	4,2	6,2	5,2	6,1	4,4	3,8	4,5	6,5
K^{20}_2O	4,4	4,3	5,2	4,4	4,2	4,3	4,3	5,1	4,5	4,3	4,6	4,8	4,3
Composition moléculaire													
SiO_2	1217	1217	1267	1265	1267	1190	1152	1183	1142	1233	1195	1108	1117
Al^{20}_3	97	98	92	113	125	116	103	99	119	122	139	185	174
Fe^{20}_3	38	37	23	21	13	35	23	38	39	19	10	23	12
FeO	18	11	15	13	8	19	89	32	31	33	22	18	28
MgO	5	tr	tr	2	tr	15	2	tr	2	12	10	10	5
CaO	7	5	13	tr	4	4	7	11	11	2	tr	4	14
Na^{20}_2O	65	74	65	65	65	68	100	84	98	71	61	77	105
K^{20}_2O	47	46	55	47	45	46	46	54	48	46	49	48	46

II

A

Quartz	33,78			35,46		
Orthose	26,13			26,13		
Albite	26,20	F= 52,33	dal= 86,11	14,15	F= 40,28	dal= 78,09
Anorthite						
Corindon				2,35		
Aemite	6,93			17,56		
SiO ³ Na ²						
SiO ³ Ca	0,81	P= 8,24		0,81	P= 21,25	
SiO ³ Mg	0,50		fem= 13,22	0,50		fem= 21,25
SiO ³ Fe				2,38		
Magnetite	4,18					
Hematite	0,80	M= 4,98				
$\frac{dal}{fem} =$	6,5	2 ^{me} Classe		3,8	2 ^{me} Classe	
$\frac{Q}{F} =$	0,60	3 ^{me} Ordre		0,88	3 ^{me} Ordre	
$\frac{K^2O+Na^2O}{CaO \text{ feldsp}} =$	>7	1 ^{er} Rang		>7	1 ^{er} Rang	
$\frac{K^2O}{Na^2O} =$	0,94	3 ^{me} Subrang		1,74	2 ^{me} Subrang	

B

Quartz	32,16			33,30		
Orthose	25,58			25,58		
Albite	27,25	F= 52,83	dal= 84,99	19,89	F= 46,36	dal= 80,68
Anorthite				1,39		
Corindon				1,02		
Aemite	10,16			17,09		
SiO ³ Na						
SiO ³ Ca	0,58	P= 10,74			P= 18,54	
SiO ³ Mg			fem= 13,93			fem= 18,54
SiO ³ Fe				1,45		
Magnetite	2,55					
Hematite	0,64	M= 3,19				
$\frac{dal}{fem} =$	6,1	2 ^{me} Classe		4,4	2 ^{me} Classe	
$\frac{Q}{F} =$	0,61	3 ^{me} Ordre		0,72	3 ^{me} Ordre	
$\frac{K^2O+Na^2O}{CaO \text{ feldsp}} =$	>7	1 ^{er} Rang		>7	1 ^{er} Rang	
$\frac{K^2O}{Na^2O} =$	0,88	3 ^{me} Subrang		1,24	3 ^{me} Subrang	

C

Quartz	35,40			35,40		
Orthose	30,58			30,58		
Albite	19,39	F= 49,97	$\Delta al = 85,37$	19,39	F= 49,97	$\Delta al = 85,37$
Anorthite						
Corindon						
Almite	10,63			10,63		
$SiO^3 Na^2$	0,61			0,61		
$SiO^3 Ca$	1,51	P= 14,73	$fem = 14,73$	1,51	P= 14,73	$fem = 14,73$
$SiO^3 Mg$						
$SiO^3 Fe$	1,98			1,98		
Magnetite						
Hématite						

$$\frac{\Delta al}{fem} = 5,8 \quad 2^{me} \text{ Classe}$$

$$\frac{Q}{F} = 0,70 \quad 3^{me} \text{ Ordre}$$

$$\frac{K^2O+Na^2O}{CaO \text{ feldsp}} = >7 \quad 1^{er} \text{ Rang}$$

$$\frac{K^2O}{Na^2O} = 1,48 \quad 3^{me} \text{ Subrang}$$

$$5,8 \quad 2^{me} \text{ Classe}$$

$$0,70 \quad 3^{me} \text{ Ordre}$$

$$>7 \quad 1^{er} \text{ Rang}$$

$$1,48 \quad 3^{me} \text{ Subrang}$$

D

Quartz	35,40			37,20		
Orthose	26,13			26,13		
Albite	34,06	F= 60,47	$\Delta al = 95,81$	23,06	F= 49,17	$\Delta al = 88,91$
Anorthite	0,28			0,28		
Corindon				2,24		
Almite				10,16		
$SiO^3 Na^2$						
$SiO^3 Ca$		P= 0,20	$fem = 4,50$		P= 12,08	$fem = 12,08$
$SiO^3 Mg$	0,20			0,20		
$SiO^3 Fe$				1,72		
Magnetite	3,02					
Hématite	1 28	M= 4,30				

$$\frac{\Delta al}{fem} = 21,2 \quad 1^{ere} \text{ Classe}$$

$$\frac{Q}{F} = 0,58 \quad 4^{me} \text{ Ordre}$$

$$\frac{K^2O+Na^2O}{CaO \text{ feldsp}} = >7 \quad 1^{er} \text{ Rang}$$

$$\frac{K^2O}{Na^2O} = 0,72 \quad 3^{me} \text{ Subrang}$$

$$7,3 \quad 1^{ere} \text{ Classe}$$

$$0,75 \quad 3^{me} \text{ Ordre}$$

$$>7 \quad 1^{er} \text{ Rang}$$

$$1,07 \quad 3^{me} \text{ Subrang}$$

IV

E

Quartz	35,94			37,02		
Orthose	25,02			25,02		
Albite	34,06	F= 60,19	Δal= 97,25	27,25	F= 53,38	Δal= 92,85
Anorthite	1,11			1,11		
Corindon	1,12			2,45		
Almite				6,01		
SiO ₃ Na ²						
SiO ₃ Ca					P= 7,07	
SiO ₃ Mg			fem= 2,66			fem= 7,07
SiO ₃ Fe				1,06		
Magnétite	1,86					
Hématite	0,80	M= 2,66				
$\frac{\Delta al}{fem} =$	36,5	1 ^{ère} Classe		13,1	1 ^{ère} Classe	
$\frac{Q}{F} =$	0,60	3 ^{me} Ordre		0,69	3 ^{me} Ordre	
$\frac{K^2O+Na^2O}{CaO \text{ feldsp}} =$	>7	1 ^{er} Rang		>7	1 ^{er} Rang	
$\frac{K^2O}{Na^2O} =$	0,69	3 ^{me} Dubrang		0,87	3 ^{me} Dubrang	

F

Quartz	29,10			32,04		
Orthose	25,58			25,58		
Albite	35,63	F= 62,32	Δal= 91,42	17,29	F= 43,98	Δal= 79,39
Anorthite	1,11			1,11		
Corindon				3,37		
Almite				16,17		
SiO ₃ Na ²						
SiO ₃ Ca	0,23	P= 1,73			P= 20,18	
SiO ₃ Mg	1,50		fem= 8,70	1,50		fem= 20,18
SiO ₃ Fe				2,51		
Magnétite	4,41					
Hématite	2,56	M= 6,97				
$\frac{\Delta al}{fem} =$	10,5	1 ^{ère} Classe		3,9	2 ^{me} Classe	
$\frac{Q}{F} =$	0,47	4 ^{me} Ordre		0,73	3 ^{me} Ordre	
$\frac{K^2O+Na^2O}{CaO \text{ feldsp}} =$	>7	1 ^{er} Rang		>7	1 ^{er} Rang	
$\frac{K^2O}{Na^2O} =$	0,67	3 ^{me} Dubrang		1,39	3 ^{me} Dubrang	

V

G

Quartz	19,44			19,44		
Orthose	25,58			25,58		
Albite	29,87	F= 55,45	Δal= 74,89	29,87	F= 55,45	Δal= 74,89
Anorthite						
Corindon						
Almite	10,63			10,63		
SiO ³ Na ²	2,44			2,44		
SiO ³ Ca	0,81	P= 25,85		0,81	P= 25,85	
SiO ³ Mg	0,20		fem= 25,83	0,21		fem= 25,83
SiO ³ Fe	11,75			11,75		
Magnétite						
Hématite						
$\frac{\Delta al}{fem} =$	2,9	2 ^{me} Classe		2,9	2 ^{me} Classe	
$\frac{Q}{F} =$	0,35	4 ^{me} Ordre		0,35	4 ^{me} Ordre	
$\frac{K^2O+Na^2O}{CaO \text{ feldsp}} =$	>7	1 ^{er} Rang		>7	1 ^{er} Rang	
$\frac{K^2O}{Na^2O} =$	0,81	3 ^{me} Subrang		0,81	3 ^{me} Subrang	

H

Quartz	23,58			23,58		
Orthose	30,02			30,02		
Albite	23,58	F= 53,60	Δal= 77,18	23,58	F= 53,60	Δal= 77,18
Anorthite						
Corindon						
Almite	17,56			17,56		
SiO ³ Na	0,12			0,12		
SiO ³ Ca	1,28	P= 23,18		1,28	P= 23,18	
SiO ³ Mg			fem= 23,18			fem= 23,18
SiO ³ Fe	4,22			4,22		
Magnétite						
Hématite						
$\frac{\Delta al}{fem} =$	3,3	2 ^{me} Classe		3,3	2 ^{me} Classe	
$\frac{Q}{F} =$	0,43	4 ^{me} Ordre		0,43	4 ^{me} Ordre	
$\frac{K^2O+Na^2O}{CaO \text{ feldsp}} =$	>7	1 ^{er} Rang		>7	1 ^{er} Rang	
$\frac{K^2O}{Na^2O} =$	1,20	3 ^{me} Subrang		1,20	3 ^{me} Subrang	

VI

I									
Quartz	17,28					17,34			
Orthose	26,69					26,69			
Albite	37,20	F= 63,89	Δal= 81,17			30,92	F= 60,67	Δal= 78,11	
Anorthite						3,06			
Corindon						0,10			
Acmite	12,47					18,02			
SiO ³ Na									
SiO ³ Ca		P= 16,46					P= 22,31		
SiO ³ Mg	0,20		fem= 19,24			0,20		fem= 22,31	
SiO ³ Fe	2,51					4,09			
Magnetite	2,78								
Hématite		M= 2,78							
$\frac{\Delta al}{fem} =$	4,2	2 ^{me} Classe				3,5	2 ^{me} Classe		
$\frac{Q}{F} =$	0,27	4 ^{me} Ordre				0,28	4 ^{me} Ordre		
$\frac{K^2O+Na^2O}{CaO\ feldsp} =$	>7	1 ^{er} Rang				>7	1 ^{er} Rang		
$\frac{K^2O}{Na^2O} =$	0,68	3 ^{me} Dubrang				0,81	3 ^{me} Dubrang		
J									
Quartz	30,06					30,60			
Orthose	25,58					25,58			
Albite	37,20	F= 63,34	Δal= 93,61			27,25	F= 53,39	Δal= 85,21	
Anorthite	0,56					0,56			
Corindon	0,31					1,22			
Acmite						8,78			
SiO ³ Na									
SiO ³ Ca		P= 3,05					P= 13,34		
SiO ³ Mg	1,20		fem= 7,46			0,20		fem= 13,34	
SiO ³ Fe	1,85					4,36			
Magnetite	4,41								
Hématite		M= 4,41							
$\frac{\Delta al}{fem} =$	12,5	1 ^{ère} Classe				6,4	2 ^{me} Classe		
$\frac{Q}{F} =$	0,47	4 ^{me} Ordre				0,57	4 ^{me} Ordre		
$\frac{K^2O+Na^2O}{CaO\ feldsp} =$	>7	1 ^{er} Rang				>7	1 ^{er} Rang		
$\frac{K^2O}{Na^2O} =$	0,64	3 ^{me} Dubrang				0,	3 ^{me} Dubrang		

VII.

K

Quartz	30,78			33,78		
Orthose	27,24			27,24		
Albite	31,96	F= 59,20	Δal= 92,84	26,72	F= 53,96	Δal= 91,72
Anorthite	tr					
Corindon	2,96			3,98		
Aemite				4,62		
SiO ³ Na ²						
SiO ³ Ca		P= 2,58			P= 8,52	
SiO ³ Mg	1,00		fem= 4,90	1,00		fem= 8,52
SiO ³ Fe	1,58			2,90		
Magnetite	2,32	M= 2,32				
Hématite						

$$\frac{\Delta al}{fem} = 18,9 \quad 1^{re} \text{ Classe}$$

$$\frac{Q}{F} = 0,52 \quad 4^{me} \text{ Ordre}$$

$$\frac{K^2O+Na^2O}{CaO \text{ feldsp}} = \infty \quad 1^{er} \text{ Rang}$$

$$\frac{K^2O}{Na^2O} = 0,80 \quad 3^{me} \text{ Dubrang}$$

$$10,8 \quad 1^{re} \text{ Classe}$$

$$0,62 \quad 3^{me} \text{ Ordre}$$

$$\infty \quad 1^{er} \text{ Rang}$$

$$0,96 \quad 3^{me} \text{ Dubrang}$$

L

Quartz	20,40			20,88		
Orthose	26,69			26,69		
Albite	40,35	F= 68,15	Δal= 94,26	28,30	F= 56,10	Δal= 84,94
Anorthite	1,11			1,11		
Corindon	5,71			7,96		
Aemite				10,63		
SiO ³ Na ²						
SiO ³ Ca		P= 1,00			P= 14,01	
SiO ³ Mg	1,00		fem= 5,98	1,00		fem= 14,01
SiO ³ Fe				2,38		
Magnetite	4,18					
Hématite	0,80	M= 4,98				

$$\frac{\Delta al}{fem} = 15,3 \quad 1^{re} \text{ Classe}$$

$$\frac{Q}{F} = 0,30 \quad 4^{me} \text{ Ordre}$$

$$\frac{K^2O+Na^2O}{CaO \text{ feldsp}} = >7 \quad 1^{er} \text{ Rang}$$

$$\frac{K^2O}{Na^2O} = 0,62 \quad 3^{me} \text{ Dubrang}$$

$$6,1 \quad 2^{me} \text{ Classe}$$

$$0,37 \quad 4^{me} \text{ Ordre}$$

$$>7 \quad 1^{er} \text{ Rang}$$

$$0,89 \quad 3^{me} \text{ Dubrang}$$

VIII

M

Quartz	9,72				11,28		
Orthose	25,58				25,58		
Albite	55,02	F= 84,49	Sal= 95,13		45,06	F= 72,13	Sal= 88,67
Anorthite	3,89				3,89		
Corindon	0,92				2,86		
Aemite					8,78		
SiO ³ Na ²							
SiO ³ Ca		P= 2,61				P= 12,98	
SiO ³ Mg	0,50		fem= 5,39		0,50		fem= 12,98
SiO ³ Fe	2,11				3,70		
Magnétite	2,78						
Trématite		M= 2,78					
$\frac{Sal}{fem} =$	17,7	1 ^{ère} Classe			6,8	2 ^{me} Classe	
$\frac{Q}{F} =$	0,11	5 ^{me} Ordre			0,15	4 ^{me} Ordre	
$\frac{K^2O+Na^2O}{CaO\ feldsp} =$	>7	1 ^{er} Rang			>7	1 ^{er} Rang	
$\frac{K^2O}{Na^2O} =$	0,43	4 ^{me} Subrang			0,53	4 ^{me} Subrang	

a Méthode Normale

Quartz Q	35,9 E	35,4 C	35,3 D	33,8 A	32,2 B	30,8 K	30,1 J	29,1 F	23,6 H	20,4 L	19,4 G	17,3 I	9,7 M	37,2 D
Orthose.	30,6 C	30,0 H	27,2 K	26,7 I	26,7 L	26,1 A	26,1 D	25,6 B	25,6 F	25,6 G	25,6 J	25,6 M	25,0 E	30,6 C
Albite	40,4 L	37,2 I	37,2 J	35,6 F	34,1 D	34,0 E	31,9 K	29,9 G	27,3 B	26,2 A	25,0 M	23,6 H	20,0 C	45,1 M
Anorthite	3,9 M	1,1 E	1,1 F	1,1 L	0,6 J	0,3 D	0 A	0 B	0 C	0 G	0 H	0 I	0 K	3,9 M
Corindon	5,7 L	2,9 K	0,9 M	0,3 J	0 A	0 B	0 C	0 D	0 E	0 F	0 G	0 H	0 I	8,0 L
Acmite	17,5 H	12,5 I	10,6 C	10,6 G	10,2 B	6,9 A	0 D	0 E	0 F	0 J	0 K	0 L	0 M	18,0 I
SiO_3Na^2	2,4 G	0,6 C	0,1 H	0 A	0 B	0 D	0 E	0 F	0 I	0 J	0 K	0 L	0 M	2,4 G
SiO_3Ca	1,5 C	1,3 H	0,8 A	0,8 G	0,6 B	0,2 F	0 D	0 E	0 I	0 J	0 K	0 L	0 M	1,5 C
SiO_3Mg	1,5 F	1,2 J	1,0 K	1,0 L	0,5 A	0,5 M	0,2 D	0,2 G	0,2 I	0 B	0 C	0 E	0 H	1,5 F
SiO_3Fe	11,8 G	4,2 H	2,5 I	2,1 M	2,0 C	1,8 J	1,6 K	0 A	0 B	0 D	0 E	0 F	0 L	11,8 G
Magnétite.	4,4 F	4,4 J	4,2 A	4,2 L	3,0 E	2,8 I	2,8 M	2,6 B	2,3 K	1,9 E	0 C	0 G	0 H	
Hématite.	2,6 F	1,3 D	0,8 A	0,8 E	0,8 L	0,6 B	0 C	0 G	0 H	0 I	0 J	0 K	0 M	
F	84,5 M	68,2 L	63,9 I	63,3 J	62,3 F	60,5 D	60,2 E	59,2 K	55,4 G	53,6 H	52,8 B	52,3 A	50,0 C	72,1 M
Sal	97,3 E	95,8 D	95,1 M	94,3 L	93,6 J	92,9 K	91,4 F	86,1 A	85,4 C	85,0 B	81,2 I	77,2 H	74,9 G	92,8 E
P	25,8 G	23,2 H	16,5 I	14,7 C	10,8 B	8,1 A	3,1 J	2,6 K	2,6 M	1,7 F	1,0 L	0,2 D	0 E	25,8 G
M	7,0 F	5,0 A	5,0 L	4,4 J	4,3 D	3,2 B	2,8 I	2,8 M	2,7 E	2,3 K	0 C	0 G	0 H	
fem	25,8 G	23,2 H	19,3 I	14,7 C	14,0 B	13,2 A	8,7 F	7,5 J	6,0 L	5,4 M	4,9 K	4,5 D	2,7 E	25,8 G

b Méthode Modifiée

37,0 E	35,5 A	35,4 C	33,8 K	33,3 B	32,0 F	30,6 J	23,6 H	20,9 L	19,4 G	17,3 I	11,3 M	Quartz Q
30,0 H	27,2 K	26,7 I	26,7 L	26,1 A	26,1 D	25,6 B	25,6 F	25,6 G	25,6 J	25,6 M	25,0 E	Orthose
30,9 I	29,9 G	28,3 L	27,3 E	27,3 J	26,7 K	23,6 H	23,1 D	19,4 B	19,4 C	17,3 F	14,1 A	Albite
3,1 I	1,4 B	1,1 E	1,1 F	1,1 M	0,6 J	0,3 D	0 A	0 C	0 G	0 H	0 K	Anorthite
4,0 K	3,4 F	2,9 M	2,5 E	2,4 A	2,2 D	1,2 J	1,0 B	0,1 I	0 C	0 G	0 H	Corindon
17,6 A	17,6 H	17,1 B	16,2 F	10,6 C	10,6 L	10,6 G	10,1 D	8,8 J	8,8 M	6,0 E	4,6 K	Acmite
0,6 C	0,1 H	0 A	0 B	0 D	0 E	0 F	0 I	0 J	0 K	0 L	0 M	SiO ₃ Na ²
1,3 H	0,8 A	0,8 G	0 B	0 D	0 E	0 F	0 I	0 J	0 K	0 L	0 M	SiO ₃ Ca
1,0 K	1,0 L	0,5 A	0,5 M	0,2 D	0,2 G	0,2 I	0,2 J	0 A	0 C	0 E	0 H	SiO ₃ Mg
4,3 J	4,2 H	4,1 I	3,7 M	2,9 K	2,5 F	2,4 A	2,4 L	2,0 C	1,7 D	1,5 B	1,1 E	SiO ₃ Fe
												Magnétite
												Idématite
60,7 I	56,1 L	55,5 G	54,0 K	53,6 H	53,4 E	53,4 J	50,0 C	49,5 D	46,4 B	44,0 F	40,3 A	F
91,7 K	88,9 D	88,7 M	85,4 C	85,2 J	84,9 L	80,7 B	79,4 F	78,1 A	78,1 I	77,2 H	74,9 G	Sal
23,2 H	22,3 I	21,3 A	20,2 F	18,5 B	14,7 C	14,0 L	13,3 J	13,0 M	12,1 D	8,5 K	7,1 E	P
												M
23,2 H	22,3 I	21,3 A	20,2 F	18,5 B	14,7 C	14,0 L	13,3 J	13,0 M	12,1 D	8,5 K	7,1 E	fem

X

A Méthode Normale

$$\frac{\text{Sal}}{\text{fem}}$$

$$\frac{Q}{F}$$

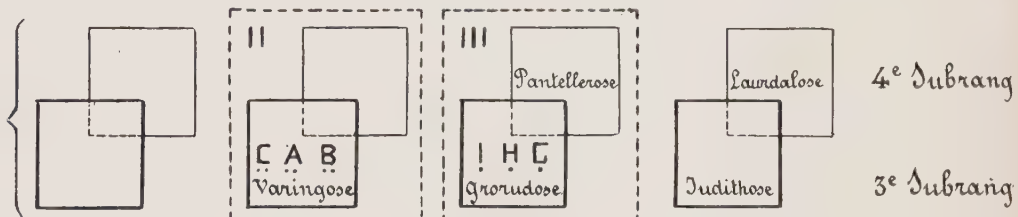
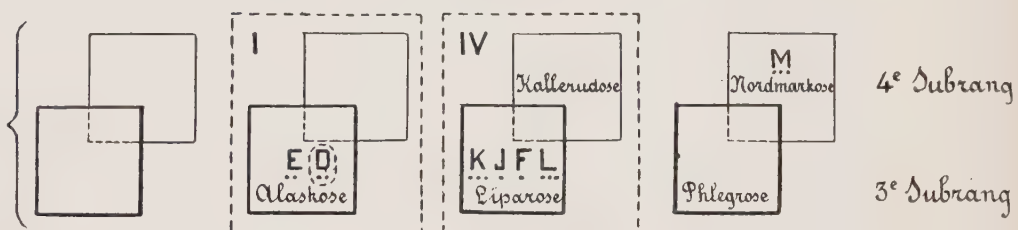
$$\frac{\text{K}^2\text{O} + \text{Na}^2\text{O}}{\text{CaO}}$$

$$\frac{\text{K}^2\text{O}}{\text{Na}^2\text{O}}$$

36,1	21,2	18,9	17,7	15,3	12,5	10,4	6,5	6,1	5,8	4,2	3,3	2,9	13,1
E	D	K	M	L	J	F	A	B	C	I	H	G	E
..	..	...	...	...	.	.	..	..	..	.	.	.	..
0,71	0,64	0,61	0,60	0,58	0,52	0,47	0,47	0,43	0,35	0,30	0,27	0,11	0,88
E	A	B	E	D	K	J	F	H	G	L	I	M	A
..	..	..	..	..	...	.	.	.	.	...	.	...	..

Rapport > 7 pour toutes les roches

1,48	1,20	0,94	0,88	0,81	0,80	0,72	0,69	0,68	0,67	0,64	0,62	0,43	1,74
C	H	A	B	C	K	D	E	I	F	J	L	M	A
..	.	..	..	.	...	..	..	.	.	.	...	...	..

2^{me} Classe1^{ère} Classe2^e Ordre3^e Ordre4^e Ordre5^e Ordre1^{er} Rang

Sal : Élément blanc %

Fem : — coloré %

Q : Quartz %.

F : Élément feldspathique %.

K²O : Nombre de moléculesNa²O : — —

CaO : — —

b Méthode Modifiée

10,8	7,3	6,8	6,4	6,1	5,8	4,4	3,9	3,8	3,5	3,3	2,9
K	D	M	J	L	C	B	F	A	I	H	G
...	..	...	.	...	..	..	.	..	.	.	.
0,75	0,73	0,72	0,70	0,69	0,62	0,57	0,43	0,37	0,35	0,28	0,15
D	F	B	C	E	K	J	H	L	G	I	M
..	..	..	..	..	...	..	..	...	..	..	...

Classe

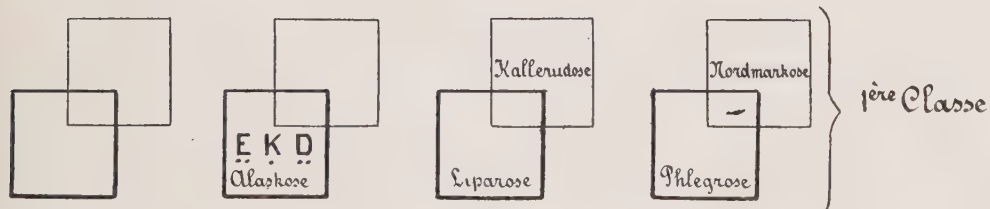
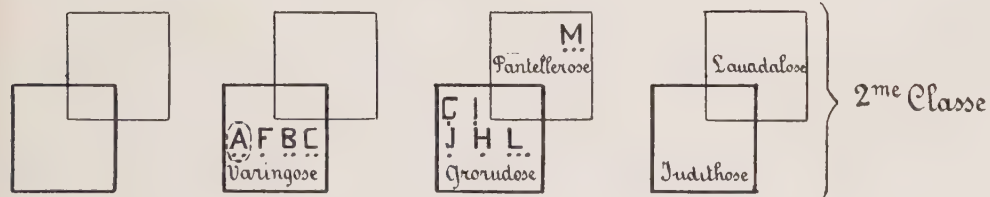
Ordre

Rapport > 7 pour toutes les roches

Rang

1,48	1,39	1,24	1,20	1,07	0,96	0,89	0,88	0,87	0,81	0,81	0,53
C	F	B	H	D	K	L	J	E	C	I	M
..	..	..	..	..	...	...	.	..	..	!	...

Subrang



2^e Ordre

3^e Ordre

4^e Ordre

5^e Ordre

le potasse attribuables à l'élément blanc.

soude — —
chaux — —

φ	4,2 C ..	3,9 A ..	3,9 B ..	3,7 E ..	3,6 H .	3,6 D ...	3,4 K ...	3,4 G .	3,3 F .	3,2 J .	2,9 I .	2,9 L ...	2,3 M ...
r	2,35 C ..	1,88 H .	1,42 A ..	1,34 B ..	1,22 G .	1,21 K ...	1,10 D ...	1,06 L ...	1,05 E ..	1,02 F .	1,02 I .	0,99 J .	0,66 M ...
n'	0 D ..	0 E ..	0 F .	0 J .	0 K ...	0 L ...	0 M ...	0,9 A ..	1,4 B ..	1,7 I .	1,8 C ..	2,5 H .	2,7 G .
Ψ .	$\Psi > 4,1$ pour toutes les roches												

Syenitiques

L
...

Alcalino granitiques

K F J
... . .

Granito dioritiques

E D
.. ..

I

G

A B C H

M

Aegyriniques analimneuses

Megacalimneuses

Mégapotasiques

Mésopotasiques

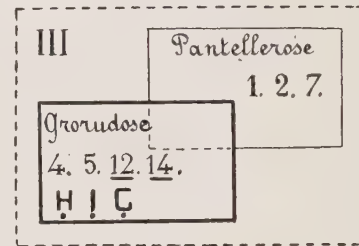
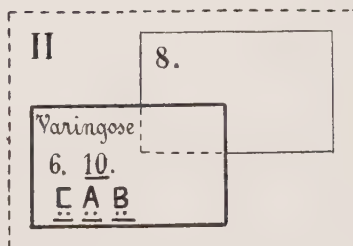
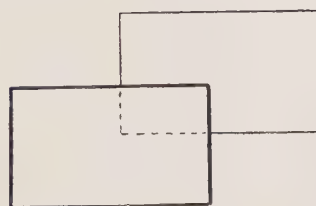
$$\varphi = \frac{S_{sat}}{2k + 3n}$$
$$r = \frac{k}{n}$$
$$\Psi = \frac{F}{M} = \frac{f}{m}$$

S_{sat} : Silice des éléments blancs.
 k . Potasse $\%$.
 n : Soude feldspathisable $\%$.
 n' : — non feldspathisable $\%$.
 f : Oxydes de fer $\%$.
 m : Magnésie $\%$.

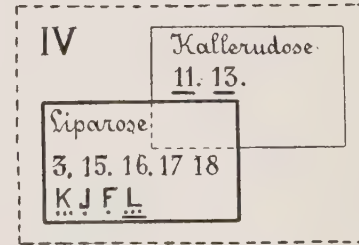
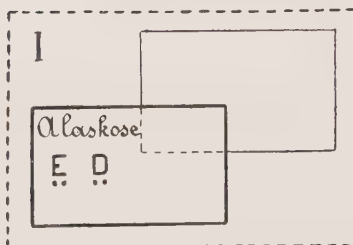
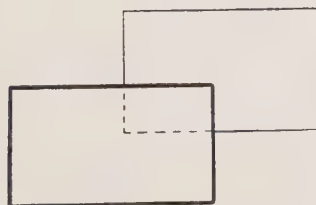
XII

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
SiO_2	67,89	67,48	68,71	69,02	69,61	70,30	70,61	70,30	68,75	74,35	73,46	70,15	71,35	66,50	68,95	74,7
Al_2O_3	11,53	9,70	13,45	10,09	8,02	6,32	8,59	6,32	5,91	8,73	12,47	10,60	12,21	10,90	14,00	11,6
Fe_2O_3	4,51	7,42	5,31	4,42	7,17	9,23	2,52	9,23	5,81	5,84	3,64	5,77	4,53	9,85	2,12	3,5
FeO	4,52	2,21	0,75	4,46	2,83	1,40	5,96	1,40	5,33	1,00	nd	1,74	1,14	2,34	3,56	0,1
MgO	0,62	0,77	0,19	0,76	0,66	0,89	0,64	0,89	0,08	0,07	tr	0,35	tr	0,60	0,07	0,1
CaO	1,51	1,45	0,96	1,45	0,88	0,84	0,07	0,84	2,11	0,15	0,32	0,72	0,22	0,64	0,23	0,0
Na_2O	5,79	7,21	4,63	6,29	7,47	7,70	6,77	7,70	7,52	4,51	5,63	5,30	6,51	5,56	5,45	4,3
K_2O	3,71	2,94	5,51	3,70	2,88	2,50	4,46	2,50	4,28	3,96	4,03	4,09	3,22	4,54	5,29	4,3
				Pantellerites								Grorudites				Comen
	16,9	17,4	18,7	19,6	24,8	29,1	29,1	28,8	28,0	35,5	25,4	25,4	21,5	18,8	15,0	31,0
	60,5	50,7	71,1	53,1	41,8	33,4	45,6	33,3	31,9	46,5	65,3	55,9	46,8	57,6	73,5	60,1
	77,4	68,1	89,8	72,7	66,6	62,5	74,7	62,1	59,9	82,0	90,7	81,3	68,3	76,4	88,5	92,1
	22,7	31,1	7,8	27,1	32,0	36,5	26,1	36,9	39,6	17,9	8,6	17,9	12,2	24,5	11,7	6,1
	Pantellerose	Pantellerose	Liparose	Grorudose	Grorudose	Varingose	Osacose très près de Pantellerose.	Cl III très près de Cl III Or.3 - r.1 - or.4	Cl III - or.3 - r.1 - or.2	Varingose	Kallerudose	Grorudose	Kallerudose	Grorudose	Liparose	Comen

9 { Cl 3
0 3
r 1
Or 2



Ju



Pl

EXPLICATION DES PLANCHES

PLANCHE I

1. *Le désert Somali près d'Adagalla.* — Aspect d'une région de steppes avec ses termitières construites en terre argileuse (p. 13).
2. *Contact des basaltes porphyroïdes et des calcaires près de Guildessa.* — Le contact est à peu près au centre de la figure; à gauche se trouvent les calcaires stratifiés dont les couches plongent vers le nord, sous les basaltes constituant la masse sombre à droite du contact (p. 17).

PLANCHE II

1. *Le lit du Hol-Hol.* — Exemple de l'aspect offert par les berges des rivières ayant creusé leur lit dans des nappes de laves. Au dernier plan, silhouette d'un massif rhyolitique (p. 9, 17 et 18).
2. *Yonnis, vue sur le N.-O.* — Vue prise du sommet d'une colline de basalte porphyroïde. Au dernier plan, à droite, profil d'un des plateaux à revêtement de basaltes doléritiques longés par la route des caravanes, entre Guildessa et l'Aouache; à gauche, silhouette du bord du plateau somali et de ses dépendances dans le désert (p. 15).
3. *La vallée du Kassam.* — Exemple des effets de l'érosion sur les régions recouvertes de nappes de laves; formation de petits plateaux présentant, en plan, l'aspect d'un jeu de patience (p. 18).

PLANCHE III

La rivière desséchée de Guildessa. Collines de basalte porphyroïde. — Les collines basaltiques occupent le centre de la planche; à droite, le lit de la rivière de Guildessa, dont le prolongement nord est représenté sur les figures de la planche IV. Au dernier plan, la silhouette des monts Sangoudouden (p. 18).

Cette planche, et la figure 2 de la planche I, donnent une idée de l'aspect des régions semi-désertiques que l'on rencontre dans l'Afar au pied des hauts plateaux.

PLANCHE IV

Les gorges de Guildessa. — Aspect des falaises de calcaires jurassiques constituant les gorges. Au dernier plan de la figure 1, on voit les collines situées sur la droite de la planche III; sur les derniers plans de la figure 2, se profilent les premiers contreforts du plateau somali à la longitude de Harrar (p. 18).

PLANCHE V

- 1 et 2. *Falaises rhyolitiques de Hélabala.* — Exemple de l'aspect stratifié et schisteux que présentent les rhyolites rubanées (p. 18).
3. *Région granitique près de Harrar.* — Vue d'une région granitique dont l'aspect ne diffère en rien des régions de même nature pétrographique de nos contrées (p. 28).

PLANCHE VI

- 1, 2, 3, 4. *L'Aouache près du pont de fer.* — Aspects divers présentés par les berges de l'Aouache; sur les figures 1, 2, 3, on distingue les traces des deux nappes de pantellérites recouvrant la région que traverse le fleuve; on voit les eaux de celui-ci (fig. 4) s'engager dans un passage extrêmement resserré, entre deux parois basaltiques (p. 16 et 17).
5. *Les monts de l'Aouache.* — Vue prise d'un point situé au nord de ces montagnes. Le dernier sommet de droite est celui que l'on voit sur la gauche de la figure 1 (p. 32).
6. *Le Fantalé et les monts de l'Aouache. Vue du col de Laga-Hardine.* — A l'avant-dernier plan, profil de la montagne de gauche de la figure 5; derrière, à droite, les autres hauteurs de cette même figure; à gauche, la silhouette du mont Fantalé (p. 31).

PLANCHE VII

1. *La falaise terminale du Choa à Baldji.* — Vue prise du bord du plateau abyssin, montrant l'importance de la dénivellation existant entre Baldji et Gadabourka; les sections présentées par les lèvres de la faille montrent de part et d'autre les traces de deux nappes superposées de pantellérites. Sur la gauche, la partie vivement éclairée correspond à l'ouverture d'une très courte vallée (première anfractuosité de gauche, fig. 2) (p. 25).
2. *Une plaine du Minjar. Vue de la falaise terminale du Choa.* — Aspect de la falaise terminale du Choa avec ses anfractuosités correspondant à l'ouverture de très courtes vallées normales à la direction générale de cette falaise. La première de ces vallées en commençant par la gauche est celle

dont on voit l'ouverture sur la figure 1, la seconde est celle représentée sur la figure 1 de la planche VIII (p. 24).

PLANCHE VIII

1. *La falaise terminale du Choa, ravin de la Chonkora*. — La figure montre les sections de deux nappes superposées de pantellérites, et les formes colonnaires de ces roches; au-dessous, on voit au milieu du premier plan une section à peu près verticale dans les trachytes à anorthose. Au fond, la cascade de la Chonkora, dont la hauteur de chute est d'environ 70 mètres (p. 99).
2. *Le désert Dankali vu de Mantacoré-Tchoba*. — Vue prise d'un point situé à 500 mètres au-dessus de la région désertique; au milieu de cette dernière, on distingue deux volcans. Au dernier plan, à gauche, la silhouette du mont Fantalé (p. 23).

PLANCHE IX

1. *Pantellérite (Tadetchamalka)*. (Grand. nat.). — Type compact. Section normale au plan de fissilité de la roche (p. 19 et 38).
2. *Pantellérite (Fantalé)*. (Grand. nat.). — Type obsidiennique (p. 38).
3. *Pantellérite (Ménabella)*. (Grand. nat.). — Type poreux (p. 19 et 39).
4. *Rhyolite à ægyrine et à riébeckite (Hol-Hol)*. (Grand. nat.). — Type rubané et contourné. Les bandes de couleur sombre correspondent à des zones chargées de métasilicates (p. 18).
5. *Rhyolite à ægyrine et riébeckite (Hélabala)*. (Grand. nat.). — Type rubané. Les bandes de couleur sombre correspondent à des zones très vitreuses de la roche et renferment de nombreux cristallites de métasilicates (p. 18).
6. *Microgranite (Morne Rouge)*. (Grand. nat.). — Roche porphyroïde (p. 73).
7. *Microsyénite quartzifère (Karsa)*. (Grand. nat.). — Roche d'aspect écaillé présentant à sa surface des taches noires formées par des agrégats de cristaux d'ægyrine et de riébeckite (p. 58).

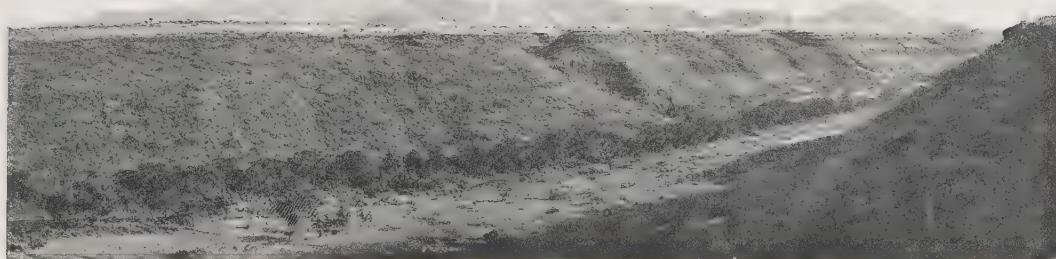
PLANCHE X

1. *Pantellérite (Baldji)*. (Lum. nat. Gr. 20 Diam.). — Phénocristaux de cossyrite (à gauche), d'ægyrine-augite (en bas, à droite) et d'anorthose (en haut, à droite) dans une pâte présentant un caractère fluidal accentué (p. 39).
2. *Pantellérite (Tadetchamalka)*. (Lum. nat. Gr. 20 Diam.). — Lithophyses évidées dans une matière isotrope de couleur sombre. Phénocristaux d'anorthose (en haut et en bas) et de quartz (à droite) (p. 39).

3. *Pantellérite* (*Baldji*). (Lum. nat. Gr. 20' Diam.). — Contact d'une enclave homœogène homologue et de la matière isotrope qui l'englobe. Enclave très quartzifère et riche en métasilicates (p. 39 et 43).
 4. *Microgranite* (*Morne Rouge*). (Nicols croisés. Gr. 20 Diam.). — Phénocristaux de quartz et de feldspath dans une pâte microgrenue essentiellement quartzeuse et feldspathique (p. 51 et 73).
 5. *Microsyénite quartzifère* (*Karsa*). (Nicols croisés. Gr. 20 Diam.). — Phénocristaux d'orthose sodique pénétré d'albite secondaire, cristaux pœcilitiques d'ægyrine et de riébeckite au milieu d'une masse confuse de microlites feldspathiques dont les intervalles intersertaux sont remplis par du quartz. En haut, à droite, cristal de quartz (p. 58).
 6. *Basalte doléritique* (*Ouaramalka*). (Lum. nat. Gr. 25 Diam.). — Grand cristal de péridot renfermant de nombreux cristaux de picotite venus en noir sur la figure (p. 94).
 7. *Labradorite doléritique* (*Irna*). (Lum. nat. Gr. 15 Diam.). — Microlites feldspathiques, cristaux de magnétite et lamelles d'ilménite moulés par un cristal de pyroxène de couleur violacée, et nettement pléochroïque (p. 94).
-



1. Le désert Somali près d'Adigalla
2. Contact des basaltes porphyroïdes et des calcaires près de Guildessa
Musoni & G. Follmer



Heliog Schutzenberger Paris

Ph. A. 175

- 1 Le lit du Hol-Hol
- 2 Yonnis. Vue sur le N O
- 3 La vallée du Kassam



La rivière desséchée de Guildessa
collines de basalte porphyroïde

A. M. S. Fournet



Les Gorges de Guldessa
Fig. 1. Vue sur le Nord. Fig. 2. Vue sur le Sud.



1.2 Falaises rhyolitiques de Hêlabala
3 Région granitique près de Harar



1



2



3



4



5



6

log Schutzenberger Paris

1 2 3 4. l'Aouache près du pont de fer — 5. Les monts de l'Aouache
6. Le Fantalé et les monts de l'Aouache, vue du col de Laga-Hardine

Phot. Absardaux



Héliog. Schützengarten Paris

- 1 La falaise terminale du Choa à Badji
- 2 Une plaine du Mindjar vue de la falaise terminale du Choa



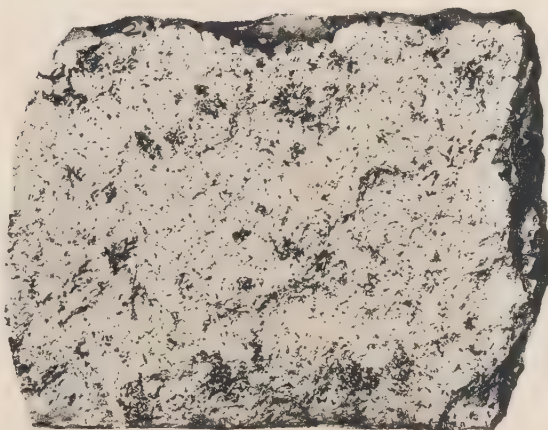
2



1



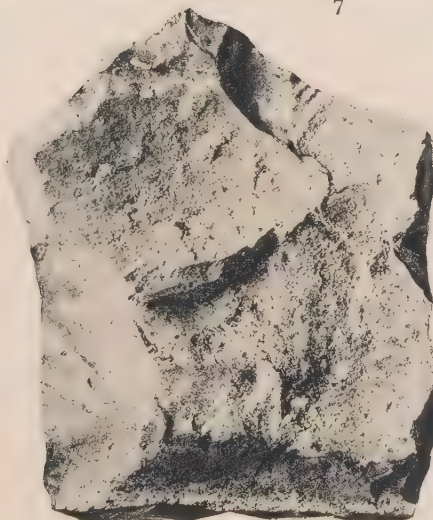
3



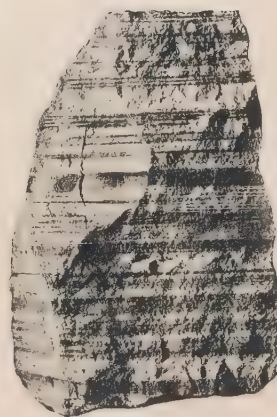
7



4



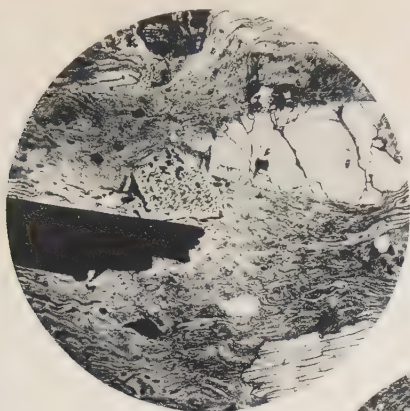
6



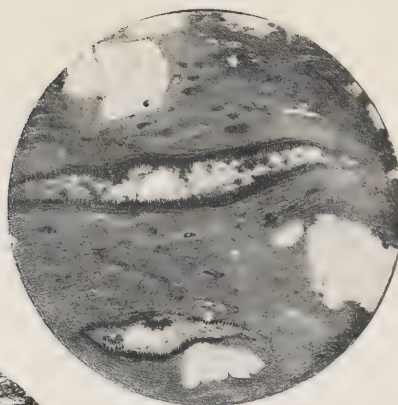
5

Phototypie Berthaud, Paris.

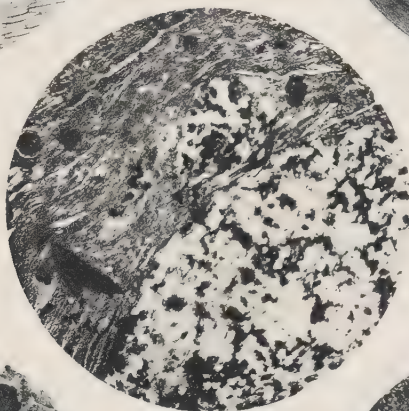
Phot. Arsandaux.



1



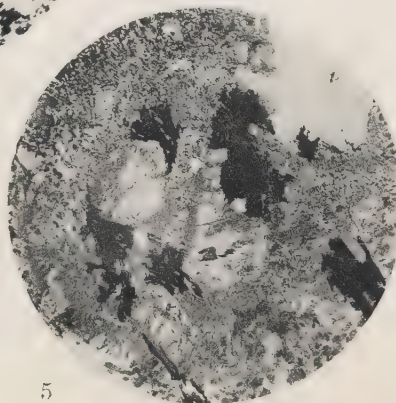
2



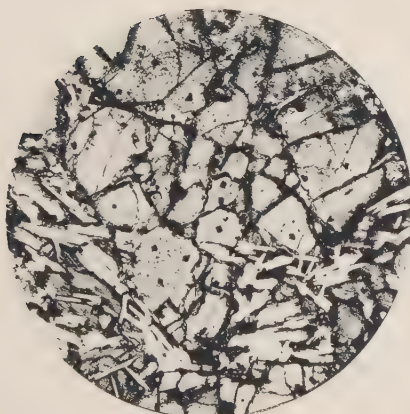
3



4



5



6



7

Phototypie Berthaud, Paris.

Phot. Arsandaux.

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

GÉOLOGIE. — Relations entre les volcans et les fractures de l'écorce terrestre.

MINÉRALOGIE. — Lois de la répartition des minerais dans les gites filoniens.

VU ET APPROUVÉ :

Paris, le 22 mai 1906

LE DOYEN DE LA FACULTÉ DES SCIENCES,

P. APPELL.

Vu et permis d'imprimer,

LE VICE-RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS,

L. LIARD.

CORBEIL. — IMPRIMERIE ÉD. CRÉTÉ.
